

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra měřicí a řídicí techniky

*Řízení LED světel elektromobilu s využitím sběrnice  
CAN*

*LED Based Light controled by CAN Bus for Electric Car*

2009/2010

Martin Mikolajek

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Martin Mikolajek**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

**Řízení LED světel elektromobilu s využití sběrnice CAN**  
**LED Based Light controled by CAN Bus for Electric Car**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s možnostmi sběrnice CAN.
2. Seznámení se s podmínkami osvětlení motorových vozidel.
3. Navržení osvětlovacího modulu s integrovaným rozhraním CAN.
4. Výběr vhodných komponent.
5. Realizace LED světla s integrovaným CAN rozhraním.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. VOSS, W. A Comprehensive Guide to Controller Area Network. Copperhill Technologies Corporation (United States), 2005. Paperback, 164 pp. ISBN 978-0-9765116-0-1.
2. PFEIFFER, O. - AYRE, A. - KEYDEL, Ch. Embedded Networking with CAN and CANopen. Copperhill Media Corporation:USA.2008. ISBN 978-0-9765116-2-5.
3. RIBBENS, W. Understanding Automotive Electronics. Elsevier Science, USA. 2003. 480pp. ISBN-13: 978-0-7506-7599-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

## ***Prohlášení***

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

.....

Martin Mikolajek

Datum odevzdání bakalářské práce 7.5.2010

### ***Poděkování***

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Valovi za odborné vedení a rady, které mi pomohly při řešení dané problematiky.

## ***Abstrakt***

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a zhotovením univerzálního prototypu zadních „diodových“ světlometů pro elektromobil s využitím komunikace s řídící jednotkou vozidla prostřednictvím sběrnice CAN. Jelikož jednotlivá světla obsahují mikroprocesor, tak světlo nabízí rozšiřující možnosti, jako například změnu intenzity světla závislosti na okolních podmínkách. Bakalářská práce popisuje hlavní vlastnosti sběrnice CAN, požadavky pro vnější osvětlení vozidel a možnosti provedení led světla. Druhá polovina práce pojednává o výběru součástek pro realizaci světla, o podkladech pro výrobu světla a popisuje program pro mikroprocesor. Vlastnosti zhotoveného světla, jako jsou například spotřeba elektrické energie a účinnost světla jsou popsány v závěru práce.

## **Klíčová slova**

Světlo, Světlo, CAN, LED, Pulzní šířková modulace.

## ***Abstract***

This bachelor thesis deals with design and construction of a prototype of an universal rear LED lighting for an electromobile, using communication with the vehicle control unit via CAN bus. As the individual lamps contain a microprocessor, thus lighting offers options such as change in the intensity of the LED, depending on ambient conditions. First half of this thesis describes the main features of the CAN bus, talks about the requirements of exterior vehicle lighting and about possibilities of implementation of LED lighting. The second half of the work start with the selection of components for the construction of lighting, the background for the manufacture of lamps and describes a program for the microprocessor. Properties of manufactured lighting, such as power consumption and efficiency lamps are described in the end of the thesis.

## **Keyword**

Lamp, Headlight, CAN, LED, Pulse width modulation

## ***Seznam použitých jednotek***

Napětí	U	[V]
Proud	I	[A]
Odpor	R	[ $\Omega$ ]
Výkon	P	[W]
Plocha	S	[m <sup>2</sup> ]
Vzdálenost	l	[m]
Světelný tok	$\Phi$	[lm]
Svítivost	I	[cd]
Prostorový úhel	$\Omega$	[sr]

## ***Seznam použitých zkratek***

A/D	Převod analogového signálu na digitální
ACK SLOT	Recesivní bit na sběrnici
BDM	Background Debug Mode
CAN	Controller area network
CAN_H	Vodič sběrnice s napětovou úrovní 2.5 – 5 V
CAN_L	Vodič sběrnice s napětovou úrovní 0 – 2.5 V
CiA	Central Intelligence Agency
DLC	Určení velikosti datového pole sběrnice
IDE	Rozlišení základního a rozšířeného formátu správ na sběrnici
I/O	Vstupy a výstupy mikrokontroléru
LED	Light emitting diode
Mbit	Jednotka informace
OZ	Operační zesilovač
PWM	Pulse width modulation
PN	Polovodičový přechod
RTR	Identifikátor datového rámce sběrnice
TTL	Logický signál s úrovní 0 - 5V

**Obsah**

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INFORMACE O SBĚRNICI CAN.....</b>	<b>3</b>
2.1	VÝVOJ SBĚRNICE.....	3
2.2	POPIS SBĚRNICE .....	3
2.3	FORMÁTY ZPRÁV NA SBĚRNICI CAN.....	4
2.4	FYZICKÉ PROVEDENÍ SBĚRNICE .....	5
2.5	NAPĚŤOVÉ ÚROVNĚ SIGNÁLŮ.....	5
2.6	OBLASTI POUŽITÍ SBĚRNICE CAN .....	5
<b>3</b>	<b>PŘEDPIS PRO VNĚJŠÍ OSVĚTLENÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL.....</b>	<b>6</b>
3.1	SPECIFIKACE VNĚJŠÍHO OSVĚTLENÍ PRO OSOBNÍ VOZIDLO DO 3.5 TUNY.....	6
3.2	MAXIMÁLNÍ SVÍTIVOST OSVĚTLENÍ.....	7
3.3	HLAVNÍ POŽADAVKY PRO JEDNOTLIVÁ SVĚTLA .....	7
<b>4</b>	<b>NÁVRH OSVĚTLOVACÍHO MODULU S INTEGROVANÝM ROZHRANÍM CAN .....</b>	<b>10</b>
4.1	MOŽNOSTI SVĚTELNÉHO ZDROJE.....	10
4.2	MOŽNOSTI POUŽITÍ SVĚTELNÉHO ZDROJE TYPU LED .....	12
4.3	ROZŠÍŘUJÍCÍ MOŽNOSTI SVÍTIDLA SE SBĚRNICÍ.....	13
4.4	KONCEPTY SVĚTELNÉHO MODULU SE SBĚRNICÍ CAN .....	14
4.5	ZPĚTNÁ VAZBA SVÍTIDLA .....	16
4.6	PROUDOVÝ ZDROJ PRO LED DIODY .....	18
4.7	VÝBĚR ŘEŠENÍ .....	22
<b>5</b>	<b>OPTIMALIZACE KOMPONENTŮ PRO VYBRANÉ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>24</b>
5.1	VOLBA MIKROKONTROLÉRU .....	24
5.2	CAN /TTL PŘEVODNÍK .....	24
5.3	VOLBA SVĚTELNÉHO ZDROJE LED .....	25
5.4	OSTATNÍ POUŽITÉ PRVKY .....	27
5.6	KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY SVÍTIDLA .....	29
<b>6</b>	<b>REALIZACE LED SVĚTLA S INTEGROVANÝM CAN ROZHRANÍM.....</b>	<b>30</b>
6.1	NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE.....	30
6.3	ELEKTRICKÉ ZAPOJENÍ MODULU .....	31
6.3	PROGRAM PRO MIKROKONTROLÉR SVÍTIDLA .....	32
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>34</b>
7.1	SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE LED SVÍTIDLA A SKUTEČNÁ ÚSPORA OPROTI ŽÁROVKOVÝM SVÍTIDLŮM .....	34
7.2	ÚHLOVÉ CHARAKTERISTIKY SVÍTIDLA .....	35
7.3	TEST KOMUNIKACE A PORUCHOVÝCH STAVŮ SVÍTIDLA .....	37
7.4	CENA PROTOTYPOVÉHO SVÍTIDLA LED .....	38
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>39</b>
	<b>POUŽITÉ ZDROJE .....</b>	<b>40</b>

## 1 Úvod

Práce navazuje na projekt Vave mobil, který se zabývá přestavbou motorového vozidla se spalovacím motorem na pohon elektrický, mimo tuto úpravu byla do vozidla instalována sběrnice CAN pro komunikaci s jednotlivými elektrickými komponenty ve vozidle. Naskytla se tedy možnost využití této sběrnice i pro řízení zadních světel, které díky sběrnici mohou komunikovat s řídicí jednotkou, a tak mohou včas detekovat případné chyby světlidla, což může přispívat k větší bezpečnosti vozidla. Jelikož je pro zapínání světel přes sběrnici CAN nutné použití mikroprocesoru, tak se také naskytla možnost využít procesor i pro nadstavbové funkce světlidla, jako je například úprava jasu světla v závislosti na okolním osvětlení, či využití ultrazvukových senzorů. (Tyto možnosti jsou rozepsány v kapitole „4.3 Rozšiřující možnosti světlidla se sběrnici“.)

Jak již bylo zmíněno, jedná se o elektromobil, a proto je u tohoto vozidla kladen důraz na co největší úsporu elektrické energie. Jelikož vozidlo nemá alternátor pro dobíjení palubní elektrické sítě (jako je tomu u spalovacích motorů), je veškerá energie závislá jen na kapacitě baterii, a proto vozidlo disponuje jen omezeným množstvím elektrické energie. Z těchto důvodů bylo dalším požadavkem dosáhnout co nejnižší spotřeby a účinnosti světlidel. Tuto podmínku bylo možno splnit výměnou zdroje světla ve světlidlech, a to tak, že byly nahrazeny standardní wolframové žárovky vhodnými led diodami.

Celá práce popisující návrh světlidel s realizací je rozčleněná do jednotlivých kapitol, které se zabývají různými problematickými částmi týkajícími se problematiky mikroprocesorem řízených „LED“ světlidel přes sběrnici.

Začátek práce se zabývá vlastnostmi a strukturou instalované sběrnice CAN. V této části práce je popsán vývoj a funkce sběrnice, komunikační protokoly, standardy, spolehlivost a další parametry sběrnice CAN. Další kapitola se věnuje barvám, světelným vyzařovacím úhlům a výkonům světlidel pro vnější osvětlení vozidla.

Po těchto dvou kapitolách s teoretickou problematikou následují kapitoly, které se zabývají návrhem světlidla. Tyto kapitoly popisují možnosti světelných zdrojů, koncepční řešení a možné rozšiřující možnosti světlidla.

Druhá polovina práce se zaměřuje na vlastní realizaci prototypového řešení „LED“ světlidla. Zde je popisována optimalizace vhodných jednotlivých komponentů tak, aby bylo dosaženo dobrého poměru ceny a funkčnosti, dále je zde uveden návrh desek plošných spojů a v neposlední části jsou zde popsány základní části navrženého programu pro mikroprocesor, který je součástí diodového světlidla.

Závěrečné kapitoly popisují vlastnosti zhotoveného prototypového led světlidla, také pojednávají o chování světlidla v případě poruchových stavů (chyba na sběrnici a chyba diod), dále je provedeno porovnání zadního prototypu led světlidel se světlidlem, který je sériově montován v automobilu určeném pro přestavbu na elektropohon.

Závěr práce popisuje cenovou dostupnost a výhody vyrobeného řešení, možné úpravy a praktické využití v led „LED“ světlidla při provozu vozidla.



## 2 Informace o sběrnici CAN

### 2.1 Vývoj sběrnice

Sběrnice CAN je datová sériová sběrnice, kterou začala v roce 1983 vyvíjet firma Bosch, s učením především pro komunikační využití v automobilové technice. První informace k CAN protokolu byly vydány v roce 1986, po kterých v roce 1987 následovalo uvedení prvních elektrických obvodů pro zpracování CAN signálu. Tyto první obvody byly prezentovány od firem Philips Semiconductors a Intel. V roce 1991 následovalo rozšíření sběrnice o specifikaci CAN 2.0. První automobil využívající sběrnici CAN byl představen firmou Mercedes - Benz v roce 1992 a v roce 1995 sdružení CiA publikovalo rozšíření sběrnice o specifikaci CAN open.

[1]

### 2.2 Popis sběrnice

CAN sběrnice je nejčastěji používána v real – time systémech, ve kterých je kladen důraz na co nejmenší reakční dobu. Komunikační protokol musí vždy umožnit připojení, které garantuje jednoznačný přístup pro jednotlivé zařízení připojené na sběrnici CAN.

Pokud dojde k přetížení sběrnice, začnou se zpracovávat žádosti na sběrnici podle priority zapsané v systému. Sběrnice Can garantuje při rychlosti 1 Mbit/s pro zprávy s nejvyšší prioritou čas pro doručení nižší než 134 us.

[1]

V případě vyskytnutí chyby na některém zařízení na sběrnici dojde k přerušení přenosu a odeslání identifikace chyby „error flag“, což zabrání jinému zařízení přijmout zprávu a tak je zaručena konzistence dat v síti. Poté nastává zrušení přenosu dalších chybných zpráv a odesílací zařízení se pokusí znovu připojit na sběrnici za účelem zahájení nového přenosu. Toto nové připojení může trvat 23, nebo 31 period.

Nevýhodou této efektivní metody je skutečnost, že může v některých případech nastat situace, že v případě nějakého chybného zařízení připojeného na sběrnici, může dojít ke zrušení všech vysílaných zpráv na sběrnici. Z tohoto důvodu je CAN protokol vytvořený tak, aby dokázal identifikovat chybné připojené zařízení na sběrnici a odlišit jedinečné chyby od chyb trvalých.

[1]

## 2.3 Formáty zpráv na sběrnici CAN

### Datový rámeček (DATA FRAME)

Aby byl zaručen co nejspolehlivější přenos informací na CAN sběrnici, je zaveden datový rámeček, který se skládá z následujících částí.

Start of frame - Jedná se o začáteční jednobitové pole s dominantním stavem.

Arbitration field - Jedná se o arbitrážní pole určující prioritu vysílané zprávy, což umožňuje, aby v případě přetížení sběrnice byla zpráva doručena zařízení, které má nejvyšší prioritu, pole také obsahuje identifikátor, což je dominantní bit RTR, který identifikuje, zda-li se jedná o datový rámeček (DATA FRAME) nebo žádost o vysílání (REMOTE FRAME).

Data field - Jedná se o datové pole velikosti 0 až 8 bajtů určené k přenosu požadovaných dat.

Crc field - Pole nesoucí 15 kontrolních bitů z cyklického redundantního kódu.

Control field - Jedná se o řídicí pole obsahující bit IDE a 4 bity DLC, první bit IDE slouží pro rozlišení základního a rozšířeného formátu a bity DLC slouží k určení velikosti datového pole, které může mít velikost až 20 byte.

Acknowledge field - Jedná se o pole sloužící pro kontrolu správně přijatých bitů, vysílač zprávy vysílá recesivní bit ACK SLOT, a pokud je vysílaná zpráva některým zařízením přijata, tak je dané zařízení tento bit přepíše na dominantní, což pro vysílač znamená stvrzení příjmu zprávy.

End of frame - Jedná se o konec rámce složeného nejméně se sedmi recesivních bitů, za kterými nesledují minimálně 3 bity sloužící pro zastavení vysílání vysílačů, aby bylo možné vysílací zařízení informovat o případných chybách od přijímacích zařízení.

### Intermission field a bus idle

- Jedná se o mezilehlé pole sloužící pro oddělení jednotlivých zpráv a uklidnění stavu na sběrnici.

### Žádost o rámeček (REMOTE FRAME)

Jedná se o rámeček, který je podobný datovému rámcí, ale neobsahuje datové pole a hodnota bitu RTR je recesivní. Tímto způsobem může zařízení v síti žádat o vysílání datového rámce se shodným identifikátorem.

### Chybový rámeček (ERROR FRAME)

Systém, který zjistí v řetězci přijímaných bitů chybu, začne vysílat 6 dominantních bitů, což má za následek poruchu struktury rámce. Celý chybový rámeček se sestává z polí ERROR FLAG a ERROR DELIMITER.

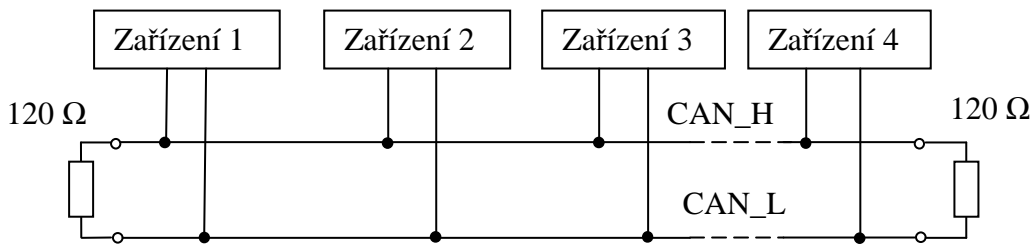
### Rámeček přetížení (OVERLOAD FRAME)

Struktura tohoto rámce je obdobná struktuře chybového rámce, tento rámeček je zařízením vysílat pouze v případě, že zařízení potřebuje delší čas pro zpracování předchozí zprávy.

## 2.4 Fyzické provedení sběrnice

Hardwarový prostředek pro přenos dat po sběrnici CAN tvoří dvou vodičové vedení. Vodiče jsou označeny jako CAN\_H a CAN\_L. Jednotlivé konce sběrnice musí být ukončeny rezistory o hodnotě odporu  $120\ \Omega$  (viz.Obr.1). K takto vytvořené sběrnici lze připojit až 110 zařízení s CAN rozhraním

Rychlost přenosu na sběrnici závisí na délce signálního vedení sběrnice, které odpovídá těmto hodnotám: 40m = 1Mbit/s, 130m = 500kbit/s, 560m = 125kbit/s a 3,3km = 20kbit/s.

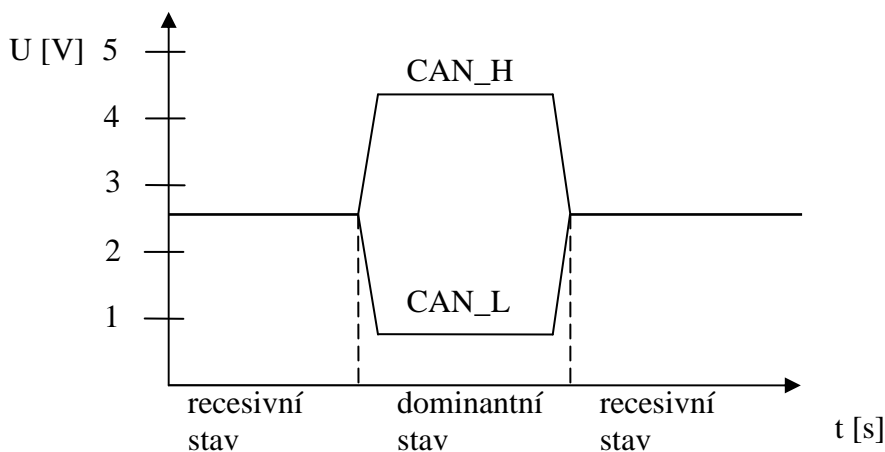


Obr. 1 Připojení k sběrnici CAN

[2]

## 2.5 Napěťové úrovně signálů

Na sběrnici CAN může docházet jen ke dvěma stavům, které mohou být dominantní reprezentující log. 0 a recesivní zatupující log 1. Každý z těchto stavů je reprezentován odlišnou úrovní napětí. V případě dominantního stavu musí být na vodiči CAN\_H napětí v rozsahu 3.5 – 5 V a na CAN\_L pak 0 – 1.5 V, naopak pro recesivní stav musí platit téměř nulový rozdíl mezi vodiči CAN\_H a CAN\_L. Tyto stavy jsou znázorněny na Obr.2.



Obr. 2 Napěťové úrovně sběrnice CAN

[2]

## 2.6 Oblasti použití sběrnice CAN

S výše uvedených vlastností a spolehlivosti, je sběrnice využívána pro všestranné využití v průmyslu ( pro průmyslovou automatizaci) i v automobilové technice, jako například připojení snímačů a funkčních bloků v automobilu k řídicí jednotce (asistenční systémy,řízení převodovky ).

### 3 *Předpis pro vnější osvětlení motorových vozidel*

Jelikož navrhované osvětlení bude použito na elektromobilu, který spadá do kategorie skupiny M1, budou popsány pouze hlavní požadavky osvětlení pro tuto skupinu. Vozidlo M1 je osobní automobil do hmotnosti 3.5 tuny. Informace o vnějším osvětlení vozidla byly čerpány z předpisu č.48. „Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci“.

#### 3.1 Specifikace vnějšího osvětlení pro osobní vozidlo do 3.5 tuny

##### Povinné svítidly a barvy svítílen pro vozidlo do 3.5 tuny

<u>Typ svítidla</u>	<u>Barva svítidla</u>
dálkový světlomet	bílá
potkávací světlomet	bílá
zpětný světlomet	bílá
směrová svítidla	oranžová
brzdová svítidla	červená
svítidla zadní registrační tabulky	bílá
přední obrysová svítidla	bílá
zadní obrysová svítidla	červená
zadní mlhová svítidla	červená
zpětný světlomet	bílá

Tab. 1 Povinné svítidly a barvy svítílen pro vozidlo do 3.5 tuny

[4]

##### Nepovinné svítidly a barvy svítílen pro vozidlo do 3.5 tuny

<u>Typ svítidla</u>	<u>Barva svítidla</u>
denní svítidla	Bílá
rohový světlomet	bílá, červená
parkovací svítidla	bílá vpředu, červená vzadu; oranžová, je-li sloučena s bočními směrovými svítidly nebo s bočními obrysovými svítidly

Tab. 2 Nepovinné svítidly a barvy svítílen pro vozidlo do 3.5 tuny

[4]

Správné výkony jednotlivých svítidel

<u>Název svítidla</u>	<u>Výkon [W]</u>
světlomety potkávací	55
světlomety dálkové	60
světlomety do mlhy	35 -55
světlomety přídatné	55
směrová světla	21
brzdová světla	18 - 21
zpětné světlomety	21-55
přídavné brzdové světlo	21

Tab. 3 Správné výkony světlometů pro světlomety s žárovkami

[3]

Pozn. Jelikož výkony jsou udávány pro žárovkové zdroje, pro užití zdrojů „LED“ budou tyto výkony přepočteny.

**3.2 Maximální svítivost osvětlení**

Maximální svítivost je udávána pouze pro dálkové světlomety, horní mez svítivosti pro všechny současně zapnuté dálkové světlomety je 225 000 cd. Maximální svítivost je také definována pomocí indexu použitého zdroje světla a to tak, že každý zdroj světla (žárovky, halogenové žárovky) je označen indexem. Tyto indexy se sčítají a jejich součet nesmí překročit hodnotu 75..

Pro ostatní světla není maximální svítivost stanovena, ale je stanovena výkony žárovek a světlomety nesmí oslňovat a musí být správně seřizeny jejich vyzařovací úhly. Také například musí být zajištěno, aby brzdové svítidlo mělo větší jas než obrysové svítidlo. Proto jsou pro dané typy osvětlení definované orientační výkony zdrojů světla (viz. Tab.3).

[4]

**3.3 Hlavní požadavky pro jednotlivá světla**Dálkový světlomet

Dálkový světlomet je povinný na motorových vozidlech, mohou být použity 2 nebo 4 světlomety, další přídavné dálkové svítidlo mohou být namontovány, ale smějí být užitá pouze pro účely světelné signalizace za denního světla, která je prováděna v krátkých časových intervalech. Stálá nepřerušovaná svítivost dálkových světel nesmí překročit 225 000cd nebo indexovou hodnotu 75, pro krátké sepnutí, tato hodnota může být překročena, například při použití světelné houkačky (krátké zapnutí dálkových světel).

Při zapnutí dálkových světel mohou být současně sepnuty potkávací světla.

Činnost dálkových světel musí být signalizována modrou kontrolkou.

### Potkávací světlomet

Potkávací světlomet je povinný na motorových vozidlech, použity musí být dvě svítilny symetricky umístěné. Vnější okraje světlometů nesmí být umístěny dál než 400mm od nejvzdálenějšího okraje vozidla a vnitřní okraje nesmí být u vozidel jejichž šířka nepřevyšuje 1300mm blíže než 400mm, u ostatních širších vozidel nesmí být blíž než 600mm. Geometrická viditelnost je definována úhly 15° nahoru a 10° dolů, 45° ven a 10° dovnitř.

Kontrolka potkávacích světel není povinná, ale v případě, že je celý světelný výkon potkávacího světla světlometu používán k osvětlování zatáčky, musí kontrolka při poruše přesouvání směru osvětlení signalizovat chybu přerušovaným světlem.

### Přední mlhový světlomet

Přední mlhový světlomet není povinný, ale pokud je použit, musí být dva na umístěné každé straně vozidla. Tyto světlomety musí být výškově umístěny od 250 do 800mm, ale musí být umístěny níže než potkávací světlomety. Geometrická viditelnost je definována úhly 5° nahoru a 5° dolů, 45° ven a 10° dovnitř. Přední mlhové světlomety se nesmějí při zatáčení natáčet a musí být umístěny tak, aby směřovaly dopředu a nesmí oslňovat ostatní řidiče. Zapínání a vypínání světlometů nesmí být spojeno s ovládáním dálkových světel a kontrolka činnosti těchto světel je povinná.

### Zpětný světlomet

Tento světlomet je povinný na motorových a přípojných vozidlech. Na vozidlech kategorie M1 a vozidlech jejichž délka nepřesahuje 6000mm je povinný jeden světlomet, a druhý volitelný. Světlomety musí být výškově umístěny od 250 do 1200mm nad vozovkou a geometrická viditelnost těchto světlometů je definována úhly 15° nahoru a 5° dolů pro svislý úhel a 45° vpravo a 45° vlevo v případě užití jednoho světlometu. V případě, že jsou světlomety použity dva 45° ven a 30° dovnitř.

### Směrová svítilna

Směrová svítilna je povinná na všech motorových vozidlech, musí být umístěná ke středu vozidla nanejvýš 400mm od nejvzdálenějšího okraje vozidla. Vnitřní okraje přivrácených ploch ve směru vztažných os musí být od sebe vzdáleny nejméně 600 mm. Tyto podmínky se nevztahují na volitelné zadní směrové svítilny. V případě, že je celková šířka vozidla menší než 1 300 mm, může být vzdálenost mezi svítilnami zmenšena na 400 mm. Světlomety musí být umístěny ve výšce od 350 mm do 1500 mm nad vozovkou. Volitelné svítilny musí být montovány souměrně a nejméně 600 mm nad povinnými směrovými svítilnami. Geometrická viditelnost je definována úhly 15° nad a 15° pod vodorovnou rovinu. V případě, že jsou svítalny montovány níže než 750 mm, může být úhel pod vodorovnou rovinu snížen na 5°. Vodorovné úhly pro přední a zadní směrové svítalny jsou definované úhly 45° ke středu vozidla a 80° ke straně od středu vozidla. Elektrické zapojení musí být provedeno tak, aby bylo možno směrová svítidla zapínat a vypínat nezávisle na ostatním osvětlení vozidla a také musí platit, že směrové svítalny umístěné na stejných stranách vozidla musí být zapínány a vypínány stejným ovládacím zařízením a perioda blikání a fáze musí být pro všechny současně spuštěné svítalny totožná. Činnost směrových svítilen musí být signalizována kontrolkou činnosti, která může být optická i akustická. V případě, že je optická, musí svítit přerušovaným světlem. V případě poruchy jakékoli směrové svítalny musí tato kontrolka zůstat trvale zhasnutá, nebo rozsvícená, popřípadě musí výrazně změnit frekvenci přerušování. V případě, že je kontrolka výlučně akustická, musí být zřetelně slyšitelná a v případě poruchy jakékoli povinné směrové svítalny musí dojít k výrazné kaustické změně frekvence. Perioda přerušování svitu směrových svítilen se nesmí měnit a musí být mezi  $90 \pm 30$  periodami za minutu.

### Výstražný signál

Výstražný signál je povinný a používá se za pomoci užití obou směrových světel, funkčnost musí být signalizována kontrolkou, která je užitá pro signalizaci směrových světel.

### Brzdová svítilna

Svítilny jsou rozděleny do kategorií S 1, S 2, S3. Brzdová svítilna je povinná na všech motorových vozidlech a musí být umístěná nanejvýš 400mm od nejvzdálenějšího okraje vozidla. Vnitřní okraje přivrácených ploch ve směru vztažných os musí být od sebe vzdáleny nejméně 600 mm. Tato podmínka se nevztahuje na volitelné zadní směrové svítilny. Tato vzdálenost může být zmenšena na 400 mm v případě, že celková šířka vozidla je menší než 1 300 mm. Světlomety musí být umístěny ve výšce od 350 mm do 1500 mm nad vozovkou. Geometrická viditelnost pro S1 a S2 je definována úhly 15° nahoru a 5° dolů, 45° vpravo a 45° vlevo. Pro S3 platí geometrická viditelnost 10° vlevo a 10° vpravo vůči podélné ose vozidla a 10° nad vodorovnou rovinu a 5° pod . Svítilna kategorie S3 nesmí být sloučena s jakoukoli jinou svítilnou.

### Svítilna zadní registrační tabulky

Osvětlení registrační značky je povinné na všech vozidlech. Počet a výkon světel musí být dostatečný pro dosažení dostatečné viditelnosti registrační značky. Barva svítilny je stanovena na bílou a kontrolka není povinná, ale v případě že je užitá, tak musí být totožná s kontrolkou pro obrysové svítilny.

### Přední a zadní obrysová svítilna

Přední a zadní obrysové svítilny jsou povinné pro všechny motorová vozidla. Tyto svítilny musí být užitý na každé straně vozidla. Svítilny nesmí být od sebe umístěny dále než 400mm od nejvzdálenějšího kraje vozidla a geometrická viditelnost je stanovena ve vodorovném směru úhly 45° dovnitř a 80° ven od středové osy vozidla. Ve svislém směru 15° nad a 15° pod vodorovnou rovinu, avšak tento svislý úhel může být zmenšen až na 5° v případě, že je svítilna namontována níže než 750 mm nad vozovkou.

Existuje však výjimka, která upravuje vodorovnou geometrickou viditelnost na úhel: 45° směrem ven a 45° směrem dovnitř, této výjimky lze použít u vozidel kategorie M1 na základě rozhodnutí výrobce, a to pouze v případě použití bočních a obrysových světel na vozidle. Kontrolka obrysových světel je povinná, ale nemusí být použita, pokud je osvětlení přístrojové desky se zapínáno a vypínáno zároveň s obrysovémi světly.

### Zadní mlhová svítilna

Zadní mlhová svítilna je povinná na všech motorových vozidlech a v případě, že je namontována pouze jedna zadní mlhová svítilna, musí být vzhledem ke střední podélné rovině vozidla umístěna na opačné straně než je předepsán provoz v zemi registrace. Na výšku musí být umístěna nejméně 250 mm a nejvýše 1 000 mm nad vozovkou. Geometrická viditelnost těchto světel je stanovena úhly 5° nahoru a 5° dolů, 25° vpravo a 25° vlevo. Mlhová svítilna musí být umístěna tak, aby byla vzdálená od brzdové svítilny nejméně 100mm. Zapnutí zadní mlhové svítilny smí být umožněno pouze v případě současného užití dálkových, potkávacích, nebo předních mlhových světel. Kontrolka zapnutí zadní mlhové svítilny je povinná.

[4]

## 4 Návrh osvětlovacího modulu s integrovaným rozhraním CAN

### 4.1 Možnosti světelného zdroje

Ve svítidle je možno použití několika typů světelných zdrojů, které mají různé vlastnosti. (Cílem této práce je řešení svítidla pomocí „led“, ale pro porovnání jsou zde uvedeny možnosti ostatních zdrojů a důvody proč, použít právě „led“).

*Orientační orovnnání světelných zdrojů podle poměru světelného toku na watt [lm/W]*

Typ světelného zdroje	Lm	W	lm/W
vysoce svítivé LED Cree XLamp MC	790	7,8	101
lineární zářivky, např. Lumilux	3350	36	93
metalhalogenidová výbojka Narva	5500	70	78,6
Xenonová výbojka do automobilu	-	-	70-90
halogenová žárovka	-	-	20
osram LED Dragon 2W	40	2	20
bílá LED využívající vhodný luminofor	30	1	30
trubicová halogenová žárovka	-	-	13-14
žárovka	720	60	12

*Tab. 4 Porovnání světelných zdrojů podle poměru světelného toku na watt [lm/W]*

Z tohoto souhrnu účinnosti a světelných zdrojů je jednoznačné, že světelné zdroje led jsou jedny s nejvíce účinnými zdroji světla.



Důvody použití světelného zdroje „LED“ pro vnější osvětlení vozidla:

- Světelný zdroj Led diod má lepší mechanické vlastnosti než klasické žárovky (například nedojde ke zničení vlákna vlivem otřesů).
- Led diody mají životnost až 100 000 hodin, kdežto klasická žárovka jen přibližně 1000hodin.
- Led dioda poskytuje potřebné monochromatické světlo, a proto není třeba používat filtry, které způsobují ztráty světelného toku.
- Pomocí led diod můžeme vytvořit svítidla o malých rozměrech.
- Svítidla s led diodami umožňují časté spínání bez výrazného opotřebení zdroje světla
- Led diody dosahují vysoké účinnosti a neprodukují velké ztrátové teplo.
- U led světelných zdrojů je přesně definovaný úhel světelného svazku (tato informace je důležitá při návrhu automobilového svítidla, pro dodržení vyzařovacích úhlů geometrické viditelnosti).
- Mezi jednu z nejdůležitějších vlastností patří rychlá odezva světelného zdroje LED (vhodné především pro automobilové brzdové světlomety).
- Světelný zdroj led nepotřebuje vysoké napětí, u vysokosvítivých diod je obvyklé napětí okolo 3,2-3,8 V a u standardních led okolo 2 V.

Předpokládaná úspora výkonu při použití Led oproti wolframovým žárovkám

Pokud porovnáme klasickou wolframovou žárovku z klasického automobilového svítidla s účinností 12lm/W a běžně dostupné LED diody s účinností přes 30 lm/W zjistíme, že přibližně třikrát snížíme příkon zdroje při dosažení stejné svítivosti a v případě použití „LED Cree XLamp MC-E“ bychom dosáhli až osminásobné úspory, která by byla ovšem vykoupená vyššími pořizovacími náklady.

Pokud bychom chtěli nahradit zdroj světla například v brzdové svítilně, ve které je standardně umístěna wolframová žárovka o výkonu 21 W, která disponuje přibližnou svítivostí 252lm, pro dosažení stejné svítivosti bychom mohli použít 9 standardně dostupných LED diod o výkonu 1W, nebo patřičné výkonové LED diody. Je potřeba vzít v potaz také skutečnost, že červeného světla při použití žárovky bývá dosaženo pomocí filtru, který propouští jen některé světelné vlnové délky (barva světla) a tak některé vlnové délky světla zůstanou utlumeny světelným filtrem barvy. U led diod není potřeba těchto filtrů používat, protože mohou generovat světlo o požadované vlnové délce (barvě), a proto můžeme použít menší světelný výkon, jelikož netlumíme tyto nepožadované barvy světla.

Konkrétní výběr světelného zdroje Led byl proveden v kapitole 5.3 „Volba světelného zdroje led“.

## 4.2 Možnosti použití světelného zdroje typu Led

Pro vnější osvětlení vozidla pomocí led světla je možno zvolit z následujících možností, které mají své výhody a nevýhody.

### Výměna standardních žárovek za led žárovky

První možností je náhrada klasických wolframových žárovek žárovkami LED, které jsou navrženy tak, aby se daly jednoduše zaměnit s wolframovými žárovkami pro vnější osvětlení vozidla.

Toto řešení by zajistilo úsporu elektrické energie, a nebylo by drahé, avšak tato metoda by byla vhodná pouze pro řešení, ve kterém používáme centrální jednotku s mikroprocesorem a CAN převodníkem pro celou řadu svítidel (viz. kapitola 4.3).



Obr. 3 LED žárovka BAY15s (P21W) 36x LED – bílá

[5]

### Použití led svítilen

Druhou možností je použití kruhových led světelných modulů od firmy „HELLA“.

Tato metoda je výhodná pro případ, ve kterém jeden mikroprocesor řídí celou skupinu světel, tak i pro případ, kdy každé svítidlo obsahuje svůj mikrokontrolér pro připojení k sběrnici, do jednotlivých světelných modulů je možno navrhnout a implementovat mikroprocesorovou jednotku s CAN rozhraním.



Obr. 4 Světla od firmy „HELLA“

[6]

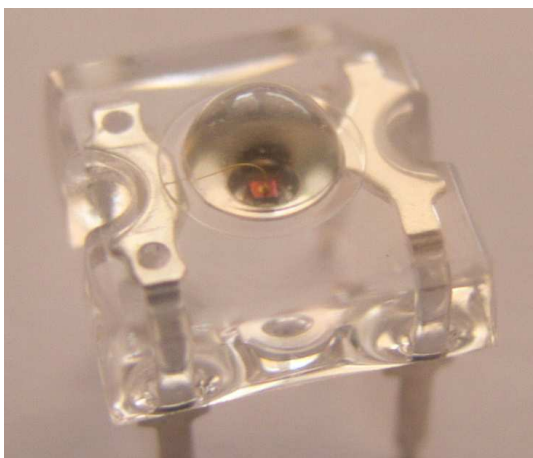
Navržení modulů s led diodami

Třetí možností je navrhnutí světelných modulů s led diodami a implementovaným CAN rozhraním podle vlastních potřeb. Tato možnost nabízí případnou snadnější implementaci ultrazvukových nebo světelných senzorů do svítidla. V případě návrhu svítidla musí být dodrženy světelné parametry pro vnější osvětlení vozidel popsané v předchozí kapitole.



Obr. 5 Super výkonný značkový LED modul PerkinElmer, 4 čipy červená barva  $U_f=2,3V$ , 635nm, 200lm při 700mA, 130°, max. el. příkon 9,8W

[7]



Obr. 6 Auto led red 3700/65°

### 4.3 Rozšiřující možnosti svítidla se sběrnici

Jelikož pro komunikaci se svítidly používáme sběrnici CAN, která je v automobilové technice používána pro veškerou komunikaci s důležitými prvky ve vozidle a jednotlivá svítidla jsou řízena mikroprocesorem, tak nám svítidlo s připojením ke sběrnici CAN nabízí následující rozšiřující možnosti:

Jednou z další možností svítidla je schopnost detekce chyby světelného zdroje a poslání těchto chyb po sběrnici hlavní řídicí jednotce ve vozidle, a nebo přímé poslání informace o chybě do palubní přístrojové desky, tak aby byl o vzniklé chybě informován řidič vozidla.

Další možností využití dostupné sběrnice CAN je zabudování ultrazvukových senzorů do svítidel pro detekci překážky za vozidlem (například jako zdrojové informace pro parkovacího asistenta).

Tyto ultrazvukové senzory lze také využít pro úpravu jasu zadních brzdových nebo mlhových svítidel, tak aby nadměru neoslňovaly například řidiče vozidla, který stojí na křižovatce bezprostředně blízko za vozidlem s diodovými mikroprocesorově řízenými svítlidly. Úpravu jasu lze použít pro brzdová svítlidla, protože je u těchto světel stanoven jejich výkon v určitém rozsahu (viz.Tab.3).

V případě použití optického snímače, lze snímat velikost venkovního světla a podle změřené úrovně okolního osvětlení upravovat jas některých svítidel na vozidle tak, aby byl v závislosti na okolním prostředí zaručen vhodný kontrast svítlidla vůči okolnímu světlu, tímto by nedocházelo při snížené viditelnosti k nadměrnému oslňování svítlidlem. (příklad: Při slunečním svitu mohou svítit směrová svítlidla vyšší intenzitou a tak je zaručeno, že toto svítlidlo nebude přehlédnuto ostatními účastníky provozu, avšak při snížené viditelnosti toto světlo nebude nadměrně oslňovat, jelikož je jas utlumen v závislosti na okolním světle.)

V případě, že použití úpravy jasu svítidel v závislosti na ultrazvukovém snímači, nebo na okolním světle, musí docházet k přepínání jasu plynule (tak, aby přepínání jasu nevyvolalo dojem blikání).

#### 4.4 Koncepty světelného modulu se sběrnici CAN

Na prototypovém vozidle jsou v zadní části umístěny jednotlivé kruhové světlomety o průměru 60 mm, proto bylo vhodné navrhnout LED světelné moduly tak, aby co nejlépe zapadly do karoserie vozidla. Jelikož se jedná o jednotlivé světelné bloky, jsou zde dvě možnosti, jak koncipovat návrh řešení.

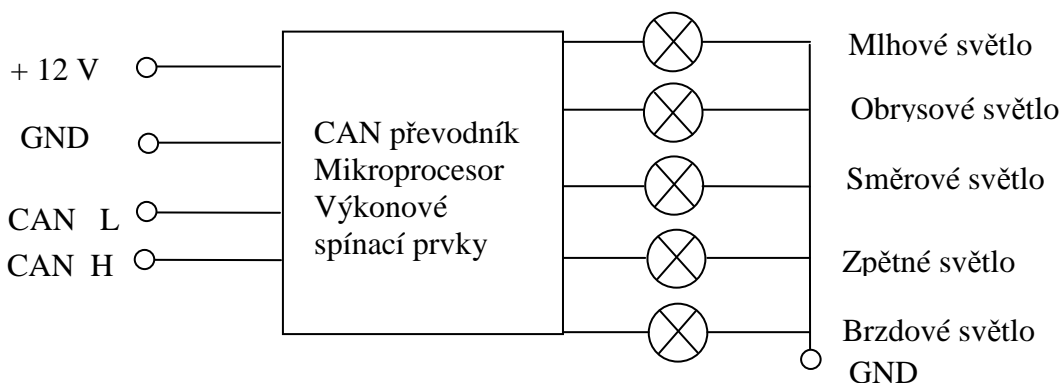
##### Možnosti připojení jednotlivých svítidel ke sběrnici.

Jednou z možností je navrhnout každé skupině jednotlivých svítidel jeden modul s mikrokontrolérem, který bude napojen na sběrnici a bude spínat jednotlivé svítilny.

Druhou možností je navrhnutí samostatných svítidel, ve kterých bude implementován mikroprocesor s připojením na sběrnici CAN.

Jednotlivé koncepty řešení mají své výhody i nevýhody, a proto bude tato problematika blíže rozebrána.

##### První možné řešení s jedním procesorem pro celou skupinu svítidel



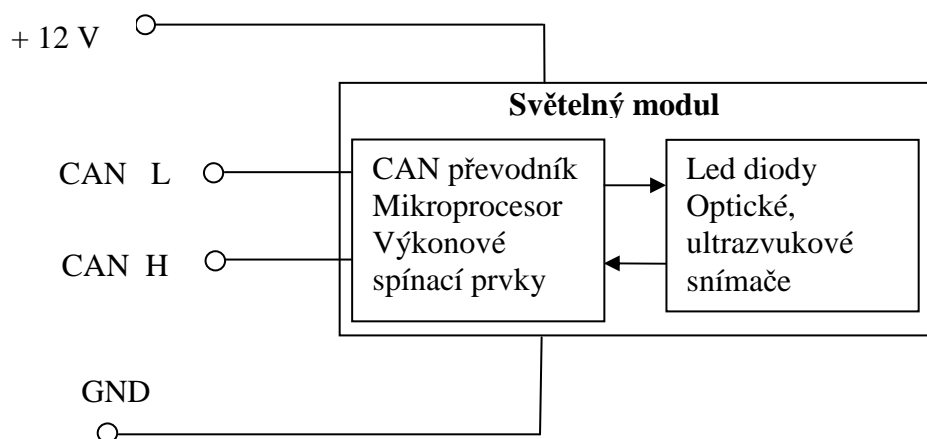
Obr. 7 Zapojení řízení skupiny svítidel s jedním procesorem

Řešení s použitím jednoho bloku s mikroprocesorovým řízením pro řízení celé skupiny zadních světel, se jeví z cenového hlediska výhodné, protože použijeme pouze jeden mikroprocesor, napájecí zdroj a převodník CAN – TTL pro celou řadu světel.

Toto řešení má několik nevýhod, při použití tohoto řešení v případě poruchy mikrokontroléru, nebo zdroje, či převodníku CAN přestane fungovat celá skupina světel, také je u tohoto řešení hůře realizovatelná optická zpětná vazba, nebo čidlo vnějšího osvětlení pro regulaci jasu svítivosti, bylo by nutno k svítidlům nutno připojit další vodiče vedoucí k snímačům.

Použití tohoto řešení se jeví vhodné v případě použití stávající sériové svítilny při provedení výměny standardní wolframové žárovky, za žárovky led.

Druhé možné řešení s implementací mikroprocesoru s CAN rozhraním do jednotlivých světel



Obr. 8 Jedno svítidlo s implementovaným procesorem s převodníkem CAN

Toto řešení řeší problematiku ovládání světel po sběrnici CAN takovým způsobem, že každý světlomet obsahuje mikrokontrolér s připojením k sběrnici CAN. Tento způsob řešení přináší mnoho výhod a disponuje s mnohem větším funkčním rozšířením svítidla. Jedinou nevýhodou je vyšší cena řešení. Mezi hlavní výhodu patří nezávislost jednotlivých světel, což znamená, že v případě poruchy na jednom ze světel nenastane porucha ostatních světel, což mohlo nastat v předchozím koncepčním řešení, protože všechna svítidla byla připojena k jednomu mikroprocesoru a k jednomu převodníku CAN - TTL. Jelikož bude každé svítidlo obsahovat CAN sběrnici můžeme do svítidla umístit a ke sběrnici připojit například ultrazvuková čidla pro parkovacího asistenta, nebo snímače osvětlení pro regulaci jasu svítidla nebo pro detekci poruchy světelného zdroje.

#### 4.5 Zpětná vazba svítidla

Jelikož vyhláška pro osvětlení nařizuje signalizovat řidiči vozidla chybu vzniklou na směrových svítlích, je nutno správnost funkce osvětlení kontrolovat zpětnou vazbou, která může být realizovaná měřením napětí na led svítidle, nebo proudovým snímačem, který zajistí informaci o toku proudu do LED diod a v případě, že proud nebude ve stanovených mezích vyšle mikroprocesor na sběrnici CAN chybovou hlášku, která bude přijata řídicí jednotkou a pak bude řidič vozidla prostřednictvím palubních přístrojů informován o chybě patřičné svítilny. Proud, který teče do světelného zdroje LED se může dostat mimo stanovené hodnoty v případě zkratu, nebo přepálení PN přechodu v led diodě. Může však nastat situace, že proud protékající led diodou je správný, ale LED dioda nevyzařuje světlo, pro zjištění tohoto chybového stavu je třeba použít optickou zpětnou vazbu. Avšak je potřeba zvážit, zda tuto optickou vazbu použít, a o kolik se navýší cena svítidla při použití této zpětné vazby, protože je známo, že světelné zdroje led mají dlouhou životnost, která se pohybuje až okolo 100 000 hodin z čehož vyplývá, že pravděpodobnost poruchy je velice malá, avšak z bezpečnostního hlediska při použití napěťové, proudové i optické zpětné vazby dosáhneme větší jistoty, a rychlé detekci případné vzniklé chyby.

##### Napěťová zpětná vazba

V případě použití napěťové zpětné vazby, je vhodné vazbu připojit na výstup proudového zdroje pro světelný zdroj LED. Tímto připojením zajistíme informaci, zda jsou proudový zdroj a výkonové spínací prvky pořádku, a jestli je na světelném zdroji správné napětí.

Vlastní měření je realizováno pomocí mikrokontroléru obsahující A/D převodník, který měří napětí na svítilně s LED a program mikroprocesoru zjišťuje jestli je hodnota ve stanovených mezích a jestliže zjistí chybu, vyšle zprávu o chybě na sběrnici CAN.

Napěťová vazba je snadno realizovatelná a cenu svítidla nikterak nenavýší, avšak nezaručuje úplnou informaci o správné funkci osvětlení, a proto ji je nutno doplnit jednou z dalších zpětných vazeb.

##### Proudová zpětná vazba

Proudová vazba zajistí, jestli je proud tekoucí do světelného zdroje ve stanovených mezích. Měření proudu bude realizováno pomocí převodníku proudu na napětí.

Převedené napětí bude přivedeno do mikroprocesoru na vstup A/D převodníku.

Program bude vyhodnocovat toto měřené napětí stejným způsobem jako u napěťové zpětné vazby.

Převodník proudu na napětí může být realizován dvěma způsoby:

1. vlastní konstrukce, pomocí bočníku a zapojení OZ.
2. použití nabízených I/U převodníku (např. halové snímače proudu)

### Optická zpětná vazba

Optickou zpětnou vazbu je možné realizovat různými způsoby, podle typu a počtu použitých čidel, a proto jsou zde uvedeny dvě možné řešení.

#### *1. Použití jednoho světelného snímače*

V tomto řešení je umístěn ve svítidle jeden světelný snímač, který snímá úroveň světla ve svítidle. Umístěný snímač může posloužit jako zpětná optická vazba a také jako snímač okolního světla pro úroveň nastavení jasu svítidel.

Díky rychlé odezvě světelného zdroje „LED“ můžeme využít tento způsob měření:

Při zapnutém svítidle je schopen mikroprocesor na časově krátký okamžik vypnout svítidlo a v tomto čase světelný snímač změří hodnotu okolního osvětlení. Informace o osvětlení bude předána pomocí úrovně napětí přivedeného k A/D převodníku mikroprocesoru.

Mikroprocesor porovná hodnoty napětí v sepnutém a vypnutém stavu led osvětlení. Hodnotu naměřenou ve vypnutém stavu lze použít pro nastavení jasu LED svítidla.

Popisované řešení je vhodné použít pouze u svítilny s čirým sklem.

#### *2. Použití dvou světelných snímačů*

Toto řešení využívá dva světelné snímače, jeden snímač snímá okolní světlo pro nastavení jasu svítilny a druhý je umístěn ve svítidle pro snímání světla produkovaného světelným zdrojem LED, tento snímač může být citlivý pouze na vlnovou délku světla, kterou produkuje světelný zdroj.

Informace o osvětlení je pak pomocí změny úrovně napětí předána na vstupy A/D převodníku mikrokontroléru.

### Teplotní vazba

Jelikož při přehřátí led diod dochází ke snížení účinnosti a hrozí zničení PN přechodu u světelného zdroje LED, je možné mikrokontrolérem měřit teplotu LED a při případném přehřátí snížit výkon svítidla. Pokud bude tento režim využit, tak musí být řidič vozidla informován o poruše svítidla (pozn. pouze navrhované řešení).

#### 4.6 Proudový zdroj pro led diody

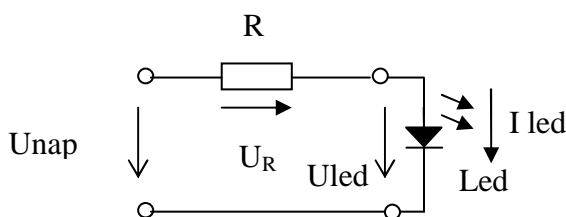
Jelikož ve svítidlech jsou jako zdroj světla použity led diody, je potřeba udržovat proud, který led diodami prochází na dané hodnotě, protože je všeobecně známo, že při nadměrném proudu, který prochází PN přechodem přes led diody, dochází ke snížení účinnosti a k přehřívání PN přechodu, což může vést až k trvalému zničení led diod. Proto je nutno před led diody vřadit proudový zdroj, který lze řešit následujícími způsoby:

##### a) Spínání tranzistorem a zapojení rezistoru před led diody

Tento způsob je velice jednoduchý, a princip spočívá v úbytku napětí na rezistoru, který nastává vlivem procházejícího proudu rezistorem. Vhodným zvolením předřadného rezistoru lze dosáhnout nastavení požadovaného proudu pro led diody.

Předřadný odpor lze vypočítat z následujícího vztahu:  $R_p = \frac{U_{nap} - U_{led}}{I_{led}}$

kde:  $R_p$  = hodnota předřadného odporu  
 $U_{nap}$  = hodnota napájecího napětí  
 $U_{led}$  = hodnota napětí na led  
 (hodnota je závislá na druhu led diody)  
 $I_{led}$  = potřebný proud pro led diody



Obr. 9 Zapojení pomocí předřadného odporu

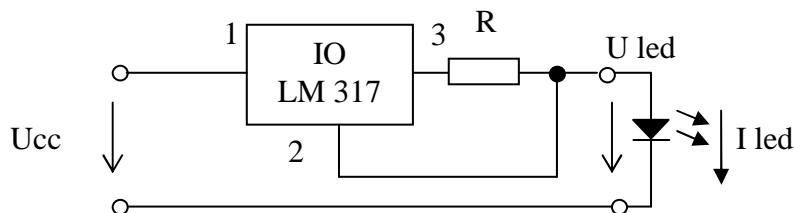
Tento způsob řízení proudu pro LED nabízí výhodu v jednoduchosti provedení, ale při použití se potýká z následujícími problémy:

1. Vlivem úbytku napětí na rezistoru dochází ke ztrátovému výkonu, který se mění v tepelnou energii, z čehož vyplývá, že tato metoda řízení proudu je vhodná jen pro malé výkony led diod, což není případ řešení problematiky svítidel na vozidle.
2. V případě kolísání napětí v palubní síti vozidla, bude docházet ke změně proudu, což vyvolá kolísání svítivosti svítidla.



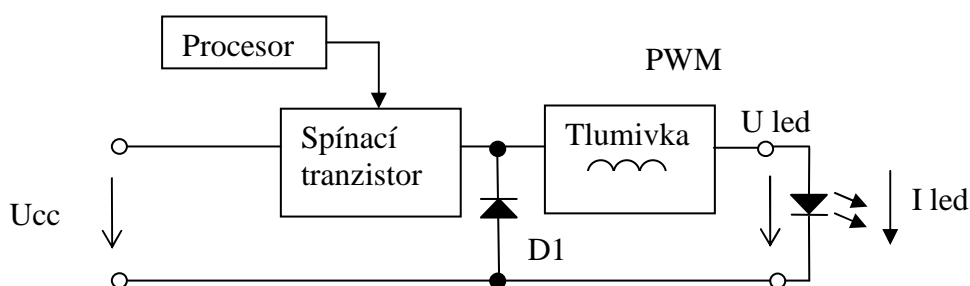
b) Využití lineárního proudového zdroje

Jedná se o standardní řešení, které může využívat například obvod LM317 (jedná se o stabilizátor napětí, který je zapojen jako proudový zdroj).



Obr. 10 Zapojení lineárního proudového zdroje

Toto řešení odstraňuje problém kolísání proudu, který může vznikat vlivem kolísání vstupního napětí. (viz. předešlé řešení), avšak na regulátoru dochází k úbytku napětí a při procházejícím proudu vzniká ztrátový výkon, což snižuje celkovou účinnost led svítidla.

c) Spínání výkonu PWM signálem, s využitím spínacího tranzistoru a filtrační tlumivky

Obr. 11 Spínání PWM signálem s využitím tlumivky

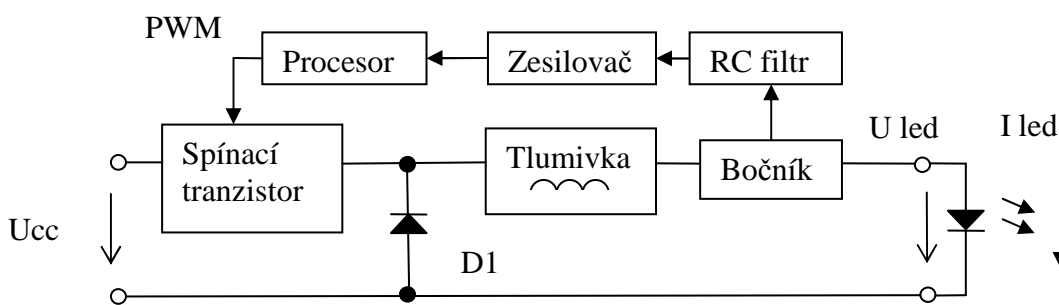
Toto řešení využívá PWM signál a filtrační tlumivku, princip řízení proudu spočívá ve změně poměru PWM signálu mezi sepnutým a rozepnutým stavem (střída). Při spínání proudu PWM signálem dochází pomocí sériově zapojené tlumivky k filtraci proudu pro led diody. Velikost proudu je závislá na poměru střídý PWM signálu. Dioda D1 slouží k uzavírání zbytkového proudu po rozepnutí tranzistoru.

Toto řešení umožňuje plynulou změnu výkonu led.

Pro správnou účinnost zapojení je potřeba zvolit zprávnou spínací frekvenci a vhodnou hodnotu filtrační tlumivky. Při vyšší spínací frekvenci lze zvolit nižší hodnotu indukčnosti a opačně.

Pokud je zvolena nízká hodnota indukčnosti, je pak potřebné zvolit vysokou spínací frekvenci PWM signálu. Těto vysoké frekvence nemusí být pomocí mikrokontroléru možno dosáhnout, nebo může dojít ke snížení rozlišovací schopnosti pro nastavení střídý PWM signálu.

d) Spínání výkonu PWM signálem, s využitím spínacího tranzistoru, filtrační tlumivky a proudové zpětné vazby



Obr. 12 Spínání PWM signálem s využitím tlumivky a zpětné vazby

Jedná se o obdobu předchozího řešení s doplněním zpětné proudové vazby, která umožňuje udržovat hodnotu stanoveného proudu při případné změně napájecího napětí.

Měření proudu lze provést pomocí bočníku, dolnoproústňního filtru a zesilovače.

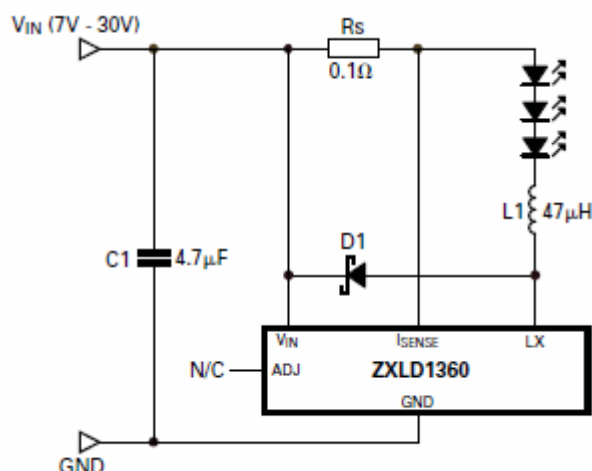
Při průchodu proudu bočníkem dochází k úbytku napětí, hodnota elektrického odporu bočníku je nízké velikosti ( $0.1-1\Omega$ ), což způsobuje při protékajícím proudu bočníkem pouze nízký úbytek napětí nesoucí informaci procházejícím proudu led diodami.

Aby bylo možné toto měření napětí pomocí mikrokontroléru s A/D převodníkem správně detekovat, je potřebné tuto hodnotu napětí zesílit pomocí operačního zesilovače.

Jelikož, protékající proud obvodu je proměnný v závislosti na spínání PWM signálem a A/D převod mikrokontroléru nemusí být v synchronizaci s PWM signálem, je tedy potřebné vřadit za nebo před zesilovač napětí dolnoproústňní filtr, který zaručí filtraci signálu a správné změření informace o protékajícím proudu. Je však potřeba zmínit, že za dolnoproústňním filtrem je informace o středním proudu LED diod.

e) Využití budiče led diod se zpětnou vazbou

Budič led diod je integrovaný obvod, který hlídá nadstavenou hodnotu proudu. Proud je měřen pomocí bočníku (na obr. to je rezistor  $R_s$ ). Obvod umožňuje plynulé řízení výstupního proudu a to pomocí plynulé změny napětí, nebo PWM signálem. Tato řídicí veličina je přiváděna na vstup ADJ. Budič pracuje ve spínaném režimu, a proto může dosahovat účinnosti až 95%. Z tohoto důvodu se hodí pro řízení vyšších výkonů led, a tak nedochází k elektrickým ztrátám. Budič umožňuje řízení výkonu až do 24 W, což vyhovuje požadavkům pro zadní diodová svítidla. Nevýhodou tohoto řešení jsou vyšší pořizovací náklady čipu.



Obr. 13 Integrovaný budič led diod s obvodem ZXLD1360

[8]

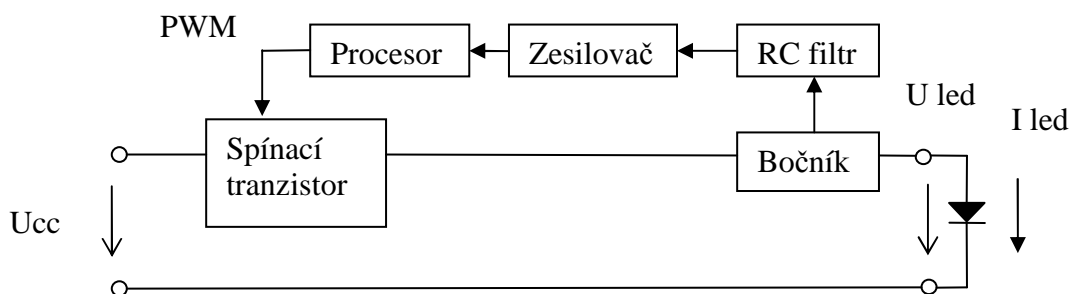
f) Řízení vhodně optimalizovaného zapojení LED diod PWM signálem

Princip tohoto zapojení řízení proudu spočívá ve správě napětově nadimenzovaných diodách. Pro dosažení co největší účinnosti musí být počet sériově zapojených diod takový, aby bylo jmenovité napětí LED diod shodné s napájecím napětím, protože bude-li jmenovité napětí LED dodrženo, bude dosaženo daného pracovního proudu pro LED diody, a tak není potřebné snižovat jmenovité napájecí napětí, například pomocí rezistorů určených k úbytku napětí (příklad: sériovým zapojením 6 diod s jmenovitým napětím 2V je teoreticky možno při napájecím napětí 12V dosáhnout proudu, který je stanoven výrobcem).

Jelikož palubní napětí elektromobilu je mírně kolísavé (přibližně  $\pm 1,5V$ ), tak lze sériově zapojené diody volit tak, aby měly zvolené nižší jmenovité napájecí napětí. Pak bude vlivem kolísavého napětí docházet ke kolísání výkonu „LED“, což lze odstranit řízením pomocí změny PWM signálu, kterým lze řídit střední proud, který prochází led diodami. Úbytek napětí na bočníku pro měření proudu je také nutno filtrovat dolnoproústním filtrem, tak jako u výše popisovaného řešení.

Toto řešení je vhodné použít pouze za předpokladu nepříliš kolísavého vstupního napětí, protože nesmí být překročena hodnota maximálního špičkového proudu led diod, jelikož je řízená pouze střední hodnota výkonu „LED“.

(pozn. toto řešení je zde uvedeno jako možné řešení s nízkými nároky na hardware a spínací frekvenci PWM signálu)



Obr. 14 Řízení vhodně optimalizovaného zapojení LED diod PWM signálem

## 4.7 Výběr řešení

### Výběr koncepčního řešení

Pro realizaci prototypového zapojení bylo vybráno druhé možné řešení s implementací mikroprocesoru s CAN rozhraním do jednotlivých světel, protože nabízí nezávislost a lepší rozšiřující možnosti (viz. kapitola „Koncepty světelného modulu s sběrnicí CAN“).

### Výběr typů zpětných vazeb

Byla vybrána napěťová a proudová zpětná vazba.

Optická zpětná vazba (která byla původně určena pro detekci stavu, ve kterém led dioda odebírá proud, ale nesvítí) nebude použita, jelikož by mohly nastat při použití následující problémy:

- v době kdy na svítidlo bude svítit výrazný vnější zdroj světla (světlomety okolních vozidel, nebo sluneční svět), nemusí optické čidlo vyhodnotit případnou poruchu led
- bylo také zjištěno, že případnou nefunkčnost led má za následek vada PN přechodu, což může být způsobeno vlivem zkratu nebo přepálení PN přechodu a tudíž lze tento chybový stav detekovat pouze měřením napětí a proudu na led diodě

Teplovní vazba nebyla použita, protože zdroj světla byl navržen tak, aby nebyl nadměrně přetěžován, a proto není pravděpodobnost přehřívání svítidla.

### Výběr zdroje světla

Jako zdroj světla byly vybrány jednotlivé LED diody (viz. Obr. 6).

### Výběr řízení proudu do LED

Pro řízení proudu LED byly vybrány různá řešení závislá na typu a výkonu svítidla. Jedná se o dva různé koncepční návrhy řízení proudu (viz. kapitola 4.6). Tyto dvě řešení byly vybrány vzhledem k optimalizaci ceny svítidla.

#### *1. vybrané řešení*

### Použití budiče LED se zpětnou vazbou

Toto řešení je vhodné pro svítidla větších výkonů (brzdová svítidla, směrová svítidla), jak již bylo popsáno (viz. kapitola 4.6) jedná se o řešení s vysokou účinností a spolehlivostí, avšak vzhledem k tomu že toto řešení navyšuje cenu řídicí jednotky, tak je vhodné využít toto řešení jen v některých případech.

#### *2. vybrané řešení*

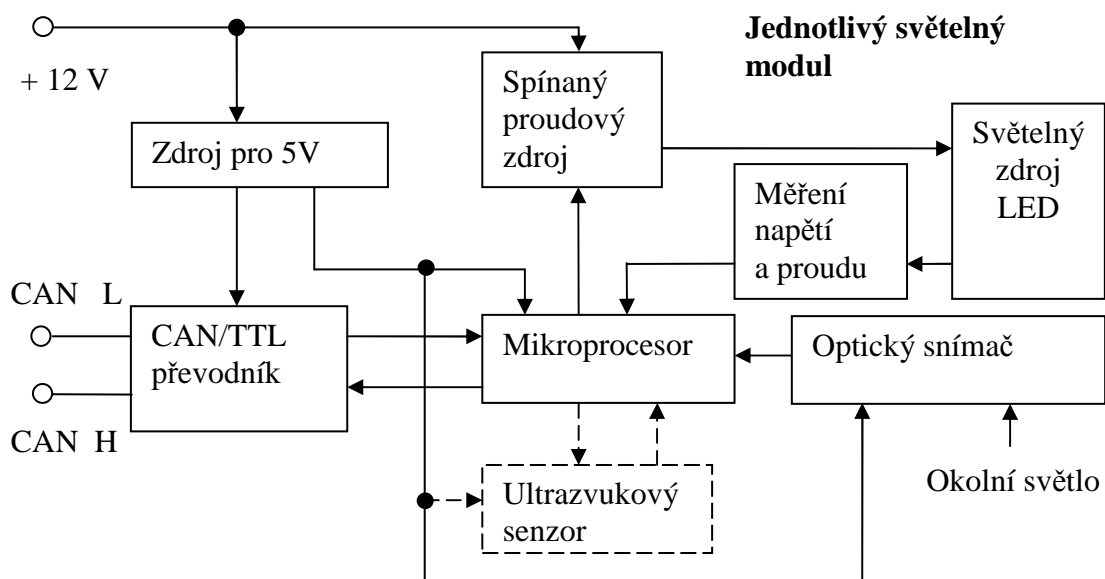
### Řízení vhodně optimalizovaného zapojení LED diod PWM signálem

Toto řešení je vhodné použít jen pro svítidla menších výkonů (zadní obrysová svítidla atd.), výhodou tohoto řešení je nízká cena a přijatelná účinnost pro malé výkony (viz. kapitola 4.6).

Výběr rozšiřujících možností svítidla

Elektronika svítidla byla opatřena hardwarem pro změnu jasu světla v závislosti na okolním (denním) světle.

Svítidlo určené pro umístění do středové zadní části vozidla (např. 3 brzdové svítidlo) může být doplněno o ultrazvukový snímač sloužící k úpravě jasu světel (viz.4.3 Rozšiřující možnosti svítidla se sběrníci ).

Blokové schéma vybraného řešení

Obr. 15 Blokové schéma navrženého svítidla (ultrazvukový senzor jen pro vybrané typy svítidla)

## 5 *Optimalizace komponentů pro vybrané řešení*

V této kapitole je popsán popis výběru komponentů pro prototypové řešení svítidla.

### 5.1 Volba mikrokontroléru

Vybraný mikrokontrolér musí splňovat následující požadavky:

- CAN rozhraní
- minimálně čtyři analogové vstupy (A/D převodník)
- PWM výstup
- minimálně 6x digitální I/O
- minimální rozměr pouzdra
- široký rozsah pracovní teploty
- přijatelná cena mikroprocesoru
- dostupnost mikroprocesoru

Těmto požadavkům vyhovují následující typy mikroprocesoru :

ATMEL ATmega16M1

Freescale MC9S08DZ16, MC9S08DZ32

Mikrochip PIC18F2480

#### Vybraný mikrokontrolér

Pro realizaci zapojení byl použit mikrokontrolér Freescale MC9S08DZ16, jedná se o 8. bitový mikroprocesor s řady HCS 08. Tento procesor nejlépe vyhovuje požadavkům, je cenově dostupný, pro programování je nabízeno vhodné programovací prostředí a jelikož všechny ostatní mikroprocesory použité v elektromobilu jsou od výrobce Freescale, je výhodné používat stejnou značku i pro další zařízení, což pak umožní například snadnější programování, protože bude možné používat pro všechny aplikace ve vozidle stejné vývojové prostředí a jediný programátor.

### 5.2 CAN /TTL převodník

Jelikož mikroprocesor pracuje s logickými 0 V = log. 0 a 5V = log.1 je potřebné data vysílané s mikroprocesoru na sběrnici CAN převést na napěťové úrovně CAN sběrnice. Tento problém je nutno vyřešit pomocí CAN/TTL převodníku.

Pro realizaci svítidla byl použit převodník PHILIPS PCA82C250, který plní ISO 11898 a disponuje přenosovou rychlostí do 1 Mbaud.

### 5.3 Volba světelného zdroje led

Světelný zdroj led, bylo nutno zvolit tak, aby odpovídal požadavkům pro daný typ svítidla. (viz. Tab. 3). Výkony udávané v tabulce jsou definovány pro svítidla s žárovkami, a proto je nutno tyto výkony přepočítat pro led svítidla.

Přepočítání výkonu bylo provedeno následujícím způsobem:

Pro standardní wolframovou žárovku je udáván přibližný výkon 12ml/W. Proto byla vynásobena tato hodnota stanoveným výkonem žárovek pro jednotlivá svítidla a tím byla získána přibližná celková svítivost pro dané svítidlo.

Výkon led byl předběžně stanoven přibližně 4x nižší než výkon žárovek.

#### Orientační tabulka svítivosti a výkonů

Typ svítidla	Výkon žárovky [W]	Světelný tok $\Phi$ [lm]	Barva světla	Přibližný výkon při použití led [W]
Brzdové svítidlo	18 - 21	216 – 252	červená	5
Směrová světla	21	252	žlutá	5
Zpětné světlomety	21 – 55	252 - 660	bílá	5 - 14
Obrysové světla	5	60	červená	1.1

Tab. 5 Přibližná svítivost jednotlivých svítidel

Mezi další kritéria pro vhodný výběr led diod je geometrická viditelnost nebo-li vyzařovací úhel svitu svítidla, který je pro jednotlivá svítidla stanoven předpisem (viz. kapitola 2.5 Hlavní požadavky pro jednotlivá světla) a jelikož led svítidlo nebude doplněno světelnou optikou, je potřebné, aby zvolené led diody svítily do požadovaných úhlů.

Jako zdroje světla lze požit několik výkonových led, a nebo vytvořit matici auto led diod s menšími výkony. Jelikož led diody vyzařují požadované barevné spektrum není třeba používat barevných filtrů jako u žárovek, a proto můžeme pro led diody volit s nižší svítivostí oproti žárovkovému osvětlení.

Výběr možných světelných „LED“ zdrojů pro zadní svítidla červené barvy1. použití výkonových led diod

Typ svítidla	Typ výkonových led	$\Phi$ [lm]	Počet [ks]	Příkon led [W]	Cena [kč]
Brzdové svítidlo	4 čipová technologie modul PerkinElmer L-ACULED VHL RED	200	1	9,8	274,90
Směrová světla	LED modul PerkinElmer L-ACULED VHL AMBER	190	1	9,8	470
Zpětné světlomety	LED modul PerkinElmer L-ACULED VHL 666R	360	1	11,9	450
Obrysové světla	LED LUXEON EMITTER L-LXHL- DD01	40	1	1	120

Tab. 6 použití výkonových led diod (orientační ceny podle GME ke dni 20.4.2010 )

Podle přibližného výpočtu svítivosti pro žárovky, byly vybrány vhodné led pro jednotlivá svítidla. Pokud některé vybrané LED převyšují stanovenou svítivost, lze jejich výkon ztlumit například řízením pomocí PWM signálu, čím dosáhneme větší účinnosti led a nebude docházet k přehřívání PN přechodu.

2. použití auto led uspořádaných do matice

Byly vybrány LED AUTO RED 3700/65° červená 635nm 3700mcd 65° 2,1V, počet těchto led byl stanoven měřením na 24 ks. (bližší informace o měření jsou v kapitole 7)

Jelikož je u auto led definovaný světelný výkon ve svítivosti, bylo potřeba pro přibližnou orientaci pro návrh svítidla přepočítat tuto hodnotu na světelný tok.

*Vztah mezi svítivostí a světelným tokem*

$$\Phi = I * \Omega$$

[9]

$$\Omega = S/l^2$$

S.....osvětlená plocha

l.....vzdálenost plochy od zdroje



## 5.4 Ostatní použité prvky

### Výkonové spínací prvky

Pro spínání proudu do LED pomocí PWM signálu bylo zvoleno tranzistoru IRLML2502. Jedná se o unipolární tranzistor typu N, který má nízkou vstupní kapacitu na vstupu GATE (brány), a proto jej lze spínat PWM signálem přímo s mikrokontrolérem.

	Parameter	Max.	Units
$V_{DS}$	Drain- Source Voltage	20	V
$I_D @ T_A = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 4.5\text{V}$	4.2	A
$I_D @ T_A = 70^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 4.5\text{V}$	3.4	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	33	
$P_D @ T_A = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	1.25	W
$P_D @ T_A = 70^\circ\text{C}$	Power Dissipation	0.8	
	Linear Derating Factor	0.01	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 12$	V
$T_J, T_{STG}$	Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 150	°C

Tab. 7 Parametry spínacího tranzistoru

[10]

Pro případ užití integrovaného LED budiče byl otestován obvod ZXLD1360. Jedná se o impulsní snižující měnič napětí, určený pro řízení proudu LED diod.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{IN}$	Input voltage		7		30	V
$V_{SU}$	Internal regulator start-up threshold	$V_{IN}$ rising		5.65		V
$V_{SD}$	Internal regulator shutdown threshold	$V_{IN}$ falling		5.55		V
$I_{INQoff}$	Quiescent supply current with output off	ADJ pin grounded		20	40	$\mu\text{A}$
$I_{INQon}$	Quiescent supply current with output switching	ADJ pin floating $f = 250\text{kHz}$		1.8	5.0	mA
$V_{SENSE}$	Mean current sense threshold voltage (Defines LED current setting accuracy)	Measured on $I_{SENSE}$ pin with respect to $V_{IN}$ $V_{ADJ} = 1.25\text{V}$	95	100	105	mV
$V_{SENSEHYS}$	Sense threshold hysteresis			$\pm 15$		%
$I_{SENSE}$	$I_{SENSE}$ pin input current	$V_{SENSE} = V_{IN} - 0.1$		1.25	10	$\mu\text{A}$
$V_{REF}$	Internal reference voltage	Measured on ADJ pin with pin floating		1.25		V
$\Delta V_{REF} / \Delta T$	Temperature coefficient of $V_{REF}$			50		ppm/K
$V_{ADJ}$	External control voltage range on ADJ pin for DC brightness control <sup>(b)</sup>		0.3		2.5	V
$V_{ADJoff}$	DC voltage on ADJ pin to switch device from active (on) state to quiescent (off) state	$V_{ADJ}$ falling	0.15	0.2	0.25	V
$V_{ADJon}$	DC voltage on ADJ pin to switch device from quiescent (off) state to active (on) state	$V_{ADJ}$ rising	0.2	0.25	0.3	V

Tab. 8 Parametry integrovaného budiče

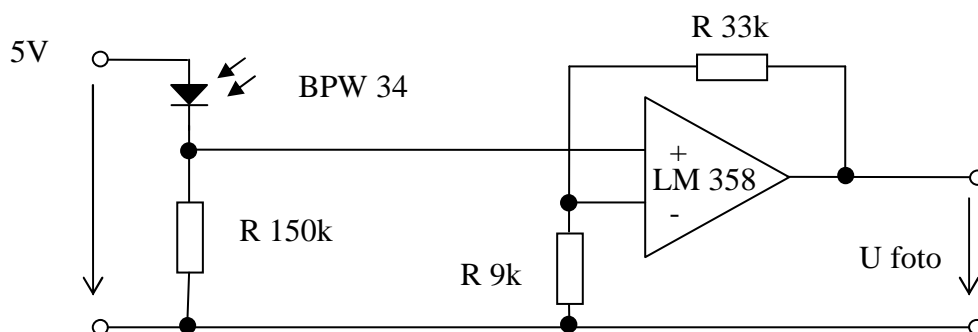
[8]

Zpětná proudová vazba

Je možné použít integrovaných obvodů, které využívají halových sond, ale vzhledem k dosažení co nejnižších nákladů svítidla, bylo vybráno měření proudu pomocí měření napětí na bočníku, které je zesíleno operačním zesilovačem a poté je přivedeno na vstup A/D převodníku k mikroprocesoru.

Světelný snímač

Pro snímání okolního světla pro případnou úpravu jasu světel, byl vybrán polovodičový snímač od firmy Siemens BPW 34, jedná se o fotodiodu reagující na světlo o vlnové délce od 400 nm to 1100 nm. Polovodičový optický snímač byl zapojen podle obr.16.



Obr. 16 Zapojení světelného snímače

Operační zesilovač

Vzhledem k tomu, že bylo potřeba zesílit napětí z bočníku pro měření proudu a napětí ze světelného snímače, bylo vhodné zvolit dvojité operační zesilovač.

Těmto požadavkům vyhovuje obvod LM 358.

Zesílení bylo nastaveno zpětnovazebními odpory pro zesílení napětí pro indikaci měřeného proudu na hodnotu 10 a pro zesílení napětí s foto snímače na 3,6.

Napájecí zdroj pro mikroprocesor

Pro napájení mikrokontroléru, CAN/TTL převodníku a optických snímačů je potřebné stabilizované napětí 5V. Jelikož tyto prvky nemají velikou spotřebu elektrické energie, byl použit lineární stabilizátor. Zcela vyhovující je stabilizátor 7805 DPAK SMD.

Volba konektoru

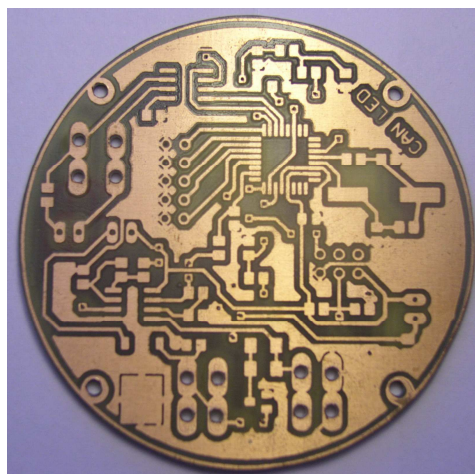
Pro připojení svítidla k napájení a k připojení na sběrnici CAN byly použity konektory typu „faston“, tento způsob připojení zjišťuje minimální přechodový odpor, dobré mechanické vlastnosti a v automobilové technice je často využíván. Pro připojení ke sběrnici a pro silové napájení byly použity rozdílné velikosti konektoru, aby nemohlo dojít k záměně zapojení kontaktu napájecích a signálních vodičů.

### 5.6 Konstrukční materiály svítidla

Základní materiál svítidla tvoří desky plošného spoje určené pro zabudování do pouzdra zadního světlometu pro žárovková svítidla.



*Obr. 17 Svítidlo určené s vnitřním průměrem 60 mm pro zabudování led modulů*



*Obr. 18 Deska plošného spoje*

## 6 Realizace LED světla s integrovaným CAN rozhraním

Pro realizaci prototypu bylo vybráno řízení proudu pomocí PWM signálu (viz.kap.3.7) .

Vlastnosti a možnosti integrovaného budiče led byly otestovány zvlášť.

### 6.1 Návrh plošného spoje

Jelikož byla pro realizaci zvolena metoda implementace elektroniky a led diod do jednotlivých svítidel, bylo potřeba desku plošných spojů vyrobít podle rozměrů svítidla. Zvolené svítidlo pro zástavbu elektroniky a led je kruhového tvaru o vnějším průměru 65mm a vnitřním průměru 60mm.

Z důvodu selektivity a nedostatku místa, byly do svítidla vyrobeny 2 desky plošných spojů, jedna deska s led diodami a druhá deska s řídicí elektronikou s připojením ke sběrnici.

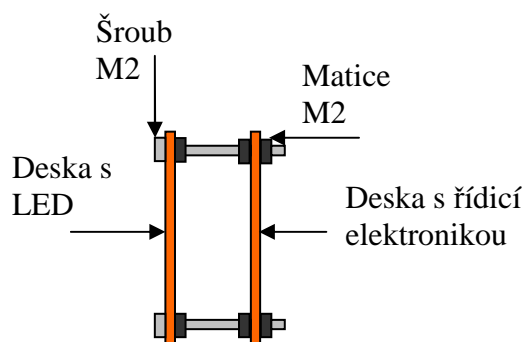
Toto řešení má také tyto další výhody:

- V případě poruchy led diod není třeba měnit řídicí elektroniku nebo opačně.
- Pro různé typy zadních světlometů (zpětné světlo, směrové světlo atd.) lze použít totožný modul s elektronikou, což ulehčí sériovou výrobu.
- Aby bylo možno jeden program použít pro všechny světelné moduly (směrová, brzdová světla atd.), obsahuje mikroprocesorová deska propojky pro volbu svítidla, ve kterém je požita.

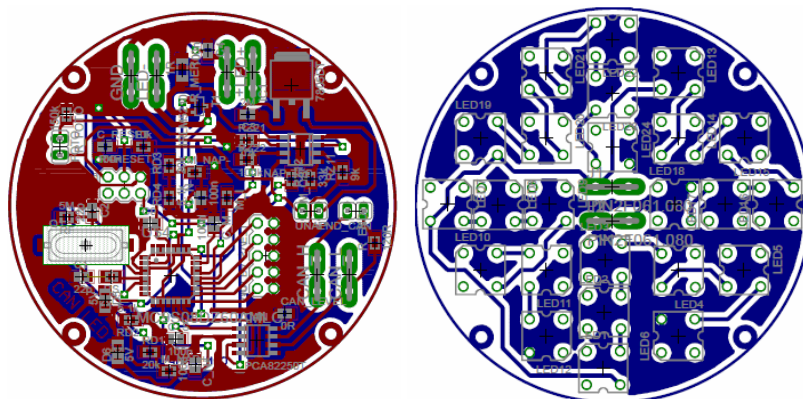
Tyto dvě desky jsou navrženy tak, aby je bylo možno k sobě jednoduše spojit šrouby M2 a vložit do těla svítidla.

Deska s led diodami je pro spínání pomocí PWM zapojena 6 x do série 4 x paralelně.

Pro otestování řízení proudu pomocí budiče diod byly jednotlivé „LED“ zapojeny 3 x do série a 8 x paralelně, touto kombinací lze dosáhnout i při silnějším poklesu napájecího napětí maximálního svitu led diod.



Obr. 19 Konstrukční řešení uspořádání plošných spojů



Obr. 20 Řídící elektronika s připojením k sběrnici a deska pro auto led

### 6.3 Elektrické zapojení modulu

Návrh elektrického zapojení byl proveden za pomoci softwaru „Eagle 6.5.0“.

Pro správné zapojení jednotlivých elektrických prvků byly použity informace z jednotlivých datasheetu od výrobců daných elektrických součástek. Celkové schéma elektrického zapojení je uvedeno v příloze.

[9] [10] [11] [12] [13] [14] [15]

### 6.3 Program pro mikrokontrolér svítidla

Program pro mikroprocesorovou jednotku byl vytvořen za pomoci vývojového prostředí Freescale CodeWarrior V6.1. Jedná se o software od firmy freescale určený pro tvorbu programů pro mikroprocesory jejich výroby. Tento vývojový software umožňuje vytvářet kód pro mikroprocesory například za pomoci programovacího jazyka C nebo C++. Použité vývojové prostředí umožňuje kompilaci programu a otestování vytvořeného programu, které lze provádět buď za pomoci simulačního prostředí, nebo nahráním a sledováním proměnných přímo v mikroprocesoru za pomoci patřičného programátoru.

Pro programování mikroprocesoru svítidel bylo využito jazyka C a programátoru BDM „HCS 08OpenSource BDM“.

*Program pro mikroprocesor byl rozdělen do dvou částí.*

#### 1. knihovna pro komunikaci po sběrnici CAN

Tato knihovna se zabývá nastavení komunikace CAN a vytvořením funkcí pro posílání zpráv po sběrnici.

K správnému nastavení registrů pro procesor byl použit datasheet k procesoru. [11]

Knihovna obsahuje funkci pro nastavení komunikace po sběrnici CAN, ve které se provádí nastavení rychlosti sběrnice, nastavení masky a filtru.

Jak již bylo zmíněno v kapitole „2.3 Formáty zpráv na sběrnici“ jsou zprávy na sběrnici CAN vysílány v daném formátu, a proto bylo nutné pro vysílání zpráv vytvořit strukturu.

Příklad vytvořené struktury pro posílání:

```
typedef struct _CANTX
{ unsigned COBID :11; unsigned RTR :1; unsigned Datalen :4; unsigned char Data[8];
}CANTX;
```

unsigned COBID	je identifikace zprávy
unsigned RTR	jedná se o nastavení datového rámce
unsigned Datalen	nastavuje délku řetězce
unsigned char Data	jedná se o pole znaku, určené pro přenos požadované informace

Obdobná struktura byla vytvořena i pro příjem.

Z takto vytvořených struktur byly vytvořené proměnné pro posílání a přijetí, do kterých se pomocí vytvořených funkcí přesouvají data s registru pro komunikaci po CAN sběrnici.

Příklad pro naplnění registru pro posílání  $CANTDSR0 = odeslat \rightarrow Data[0];$

Příklad pro čtení s registru  $prijmi \rightarrow Data[0] = CANRDSR0;$

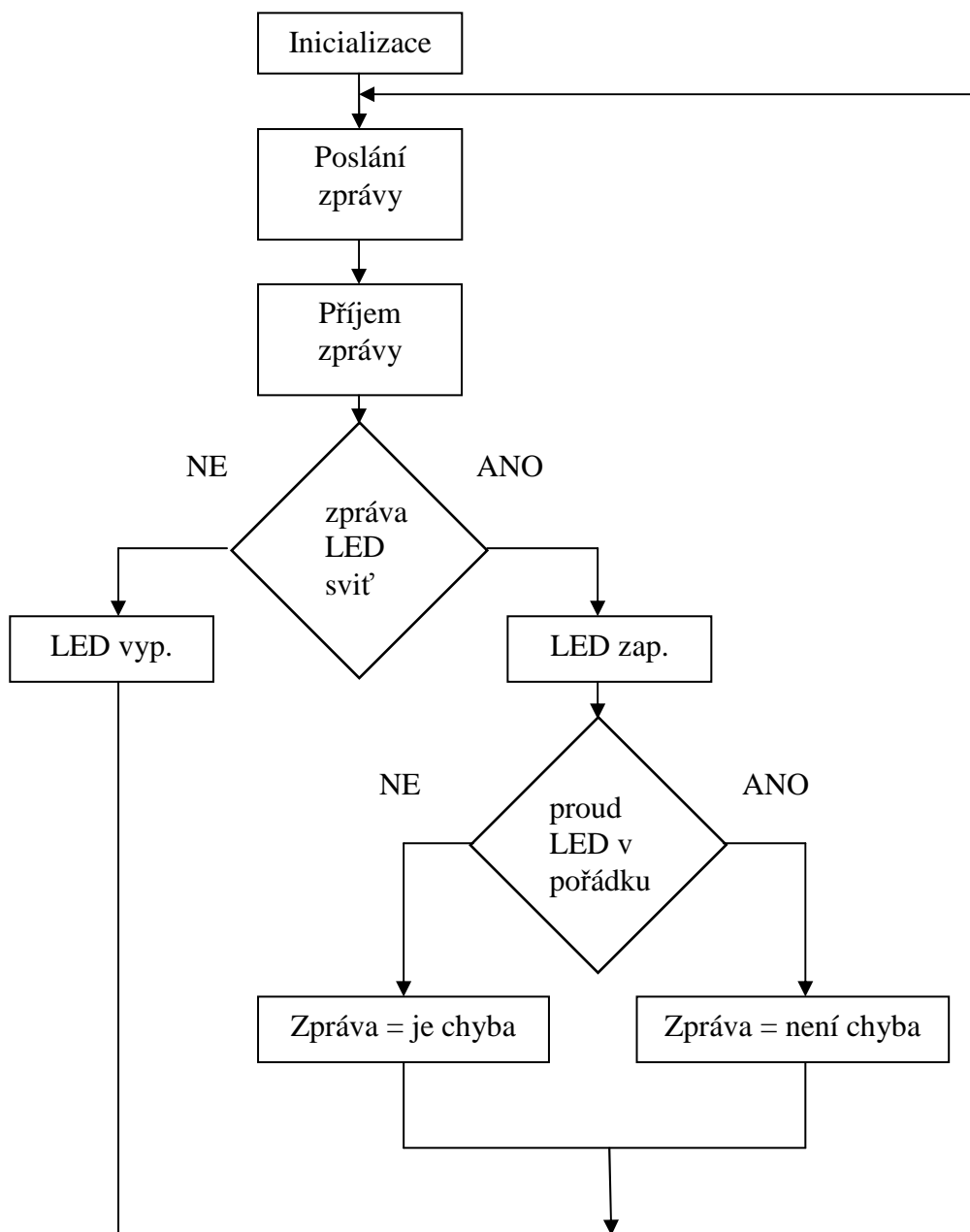
#### 2. hlavní program

V programu je provedena inicializace procesoru, která byla taktéž provedena za pomoci datasheetu k procesoru

[11].

Celý program běží ve hlavní smyčce, ve které jsou vysílány a přijímány zprávy na sběrnici. Tato funkce je vykonávána za pomoci volání funkcí z vytvořené knihovny CAN. Mimo to tato hlavní smyčka obsahuje kód pro spínání, kontrolu led diod a detekuje chybu sběrnice.

*Kód je podrobněji popsán na příloženém CD.*

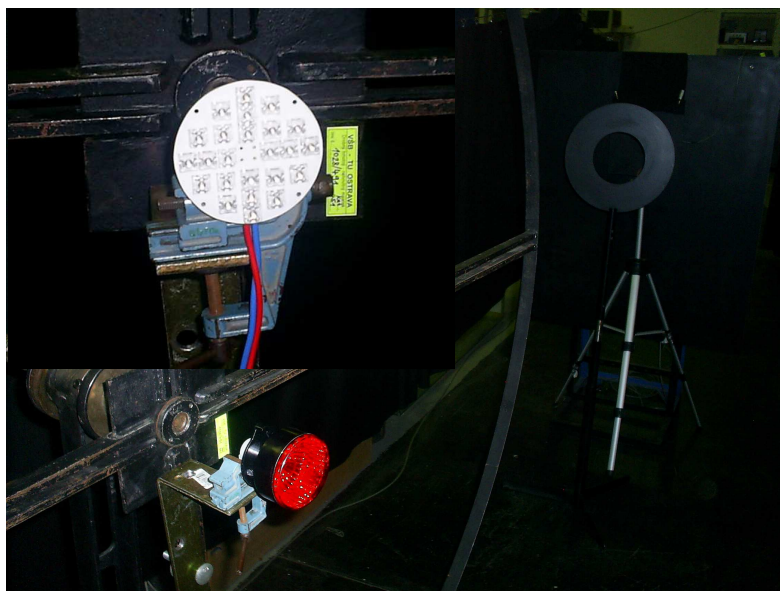
Zjednodušený vývojový diagram programu mikrokontroléru pro řízení led svítidla

Obr. 21 Zjednodušený vývojový diagram programu mikrokontroléru pro řízení led svítidla

## 7 Zhodnocení dosažených výsledků

### 7.1 Spotřeba elektrické energie LED svítidla a skutečná úspora oproti žárovkovým svídlům

Po zhotovení prototypového svítidla led bylo provedeno měření účinnosti a světelného výkonu. Pro porovnání bylo také změřeno mlhové svítidlo určené pro vozidlo představované na elektropohon. Tyto měření byly provedeny na měřícím přípravku pro měření úhlu a svítivosti.



Obr. 22 Měření svítidel na měřícím zařízení pro učení svítivosti a úhlových charakteristik( vlevo nahoře upevněn modul led, dole mlhové svítidlo z prototypového vozidla )

Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že zhotovené svítidlo s 24 maticově uspořádaných led diod „AUTO-LED červená 635nm 3700mcd 65° “ se blíží hodnotě světelnému toku s standardního mlhového svítidla. Dále bylo zjištěno, že reflektor mlhového svítidla propouští jen 18° světla generovaného žárovkou, což je zapříčiněno nepříliš kvalitně provedeným reflektorem svítidla a červeným barevným filtrem, který propouští jen jednotlivé vlnové délky světla, jelikož led diody vyzařují pouze jednu vlnovou délku ve stanoveném úhlu, tak není nutno používat reflektoru a barevných filtrů, a tudíž nedochází ke snížení účinnosti. Světelný zdroj vytvořený matici led diod je přibližně 8 x úspornější, než žárovkové svítidlo. Bylo však také zjištěno, že použité maticově zapojené led diody se oproti vysokosvítivým diodám nevyznačují vysokou účinností. Pro přehlednost jsou všechny hodnoty uvedeny v následující tabulce.

	U [V]	I [A]	P [W]	Účinnost světelného zdroje [lm/W]	Účinnost svítidla [lm/W]	Světelný tok svítidla $\Phi$ [lm]
LED svítidlo	14.9	0.2	2.8	29.5	29.5	82.25
Žárovkové mlhové svítidlo	13	1.83	23.52	21.25	3.83	90.25

Tab. 9 Skutečné naměřené hodnoty led svítidla a žárovkového svítidla



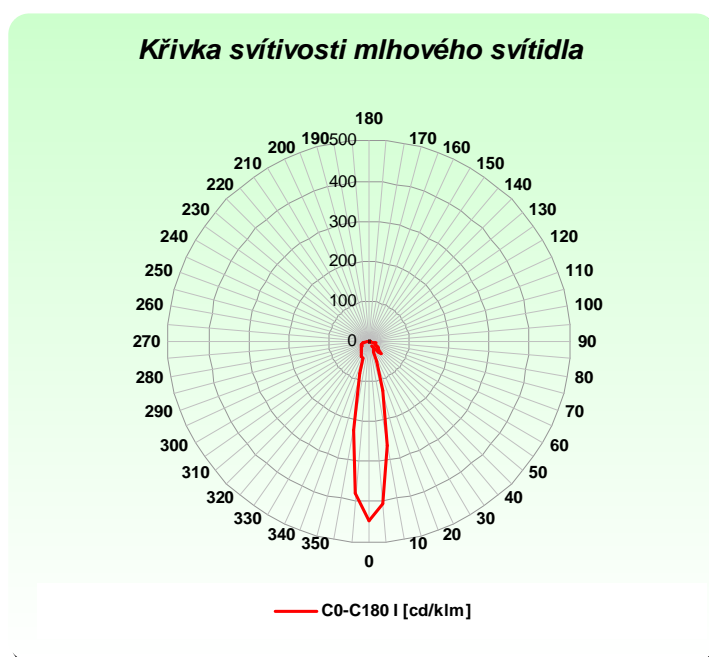
Spotřeba mikroprocesorové desky s CAN rozhraním

Samotná deska pro ovládání světel s mikroprocesorem, převodníkem CAN spotřebovává při vysílání a příjmu 30mA při napájecím napětí 12V, což odpovídá výkonu 0.48W. Takže můžeme uvažovat, že celkový prototypový modul se světlem LED je adekvátní světelnému výkonu 21W červenému světlu a spotřebovává pouze výkon okolo 3.3W.

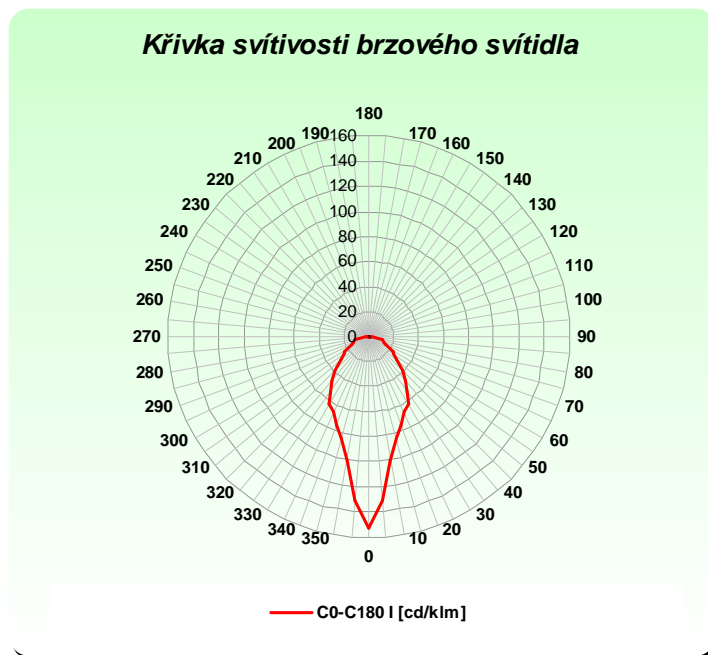
Nevýhodou však je, že jednotlivé moduly spotřebovávají elektrickou energii i v době, kdy není požadavek na svit daného světla. Tento problém je možno vyřešit výměnou lineárního 5 voltového stabilizátoru za impulsní, nebo lze uvádět mikroprocesoru do režimu spánku v době, kdy není požadavek na svit daného světla, čímž by bylo dosaženo snížené spotřeby mikrokontroléru.

**7.2 Úhlové charakteristiky světla**

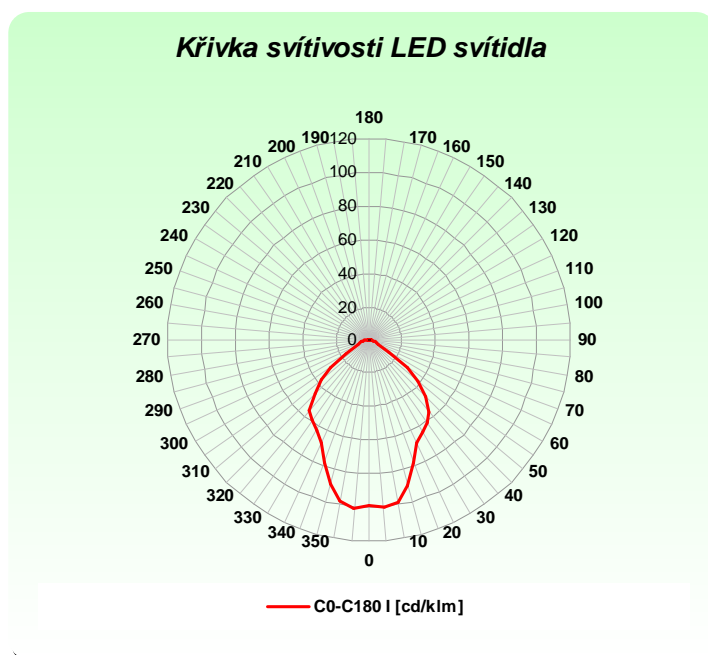
Z důvodů předepsané geometrické viditelnosti pro světla, bylo provedeno kontrolní měření úhlových charakteristik prototypového LED světla. Mimo to byly také pro porovnání změřeny úhlové charakteristiky sériově montovaných světel z prototypového elektrovozidla.



Obr. 23 Změřená charakteristika mlhového světla



Obr. 24 Změřená charakteristika brzdového svítidla



Obr. 25 Změřená charakteristika prototypového LED svítidla

Z naměřených úhlových charakteristik vyplývá skutečnost, že mlhové svítidlo soustředí světlo do úzkého úhlu (podle předpisu EHK č.48 je stanoveno 25° vpravo a vlevo od osy).

Vyrobené led svítidlo má širší úhlovou charakteristiku přibližně 45° vpravo a vlevo od osy, právě tato úhlová charakteristika se přibližně shoduje s charakteristikou změřeného brzdového svítidla a podle předpisu EHK č.48 vyhovuje pro brzdový a obrysový světlo. Pokud bude potřeba využít tohoto LED svítidla i pro zadní mlhové svítidlo, je potřebné zvolit led diody s užším světelným vyzařovacím úhlem, nebo zvolené led diody na desce natočit o požadovaný úhel, tak aby vyzařovaly světlo do užšího světelného svazku.

### 7.3 Test komunikace a poruchových stavů svítidla

Otestování mikroprocesorové jednotky pro řízení led svítidel s připojením ke sběrnici CAN bylo provedeno pomocí dvou modulů určených pro řízení led svítidla, a to tak, že jeden modul určený pro zabudování do svítidla byl naprogramován jako přijímač k němuž byla připojena deska s auto led a druhý totožný modul byl naprogramován jako vysílač (či-li jednotka, nahrazující řídící jednotku automobilu, která vysílá data na sběrnici podle pokynů řidiče vozidla ). Jelikož řídící moduly pro instalaci do svítidel neobsahují tlačítka, ani signální led, byl k vysílací jednotce připojen modul s tlačítky a signálními led diodami .

Signalizační zařízení bylo připojeno přes piny určené pro volbu typu svítidla. Tyto piny v modulu byly programově nakonfigurovány jako digitální vstupy a výstupy.

Na zapojeném testovacím zařazení byl proveden test ovládání světel přes sběrnici s detekcí chyby led a chybě příjmu na sběrnici.

#### Testovací postup:

Tyto moduly byly připojeny k napájecímu napětí 12V, po kontrole odběru proudu byl zjištěn celkový proud 72mA, což odpovídalo zapojení dvěma modulům.

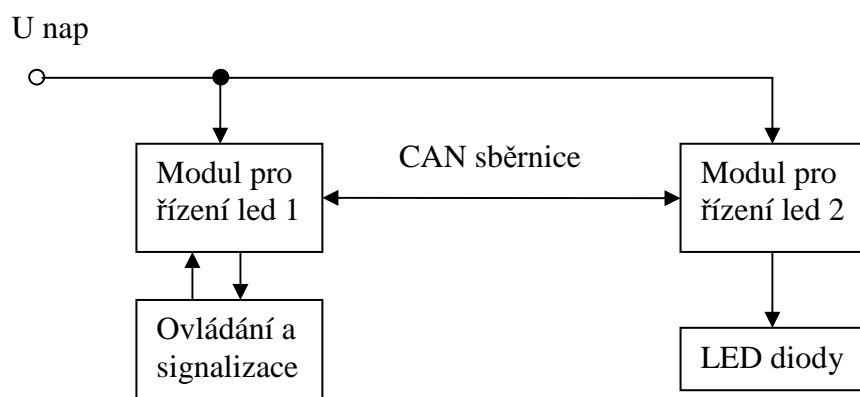
Poté byla pomocí digitálního osciloskopu ověřena správnost signálu na sběrnici CAN. (průběhy změřeného signálu jsou zobrazeny v příloze).

Pomocí ovládacích tlačítek a první mikroprocesorové desky byla na sběrnici CAN vysílána zpráva pro zapnutí nebo vypnutí led diod.

Po otestování správnosti ovládání byl proveden test chyby led diod, a to tak, že byl od druhé mikroprocesorové jednotky odpojen modul s led diodami. Tato deska na základě měření proudu led detekovala chybu, kterou vyslala na sběrnici pro mikroprocesorovou desku s signalizačním modulem a základě příjmu této zprávy byla na signálním modulu rozsvícená patřičná signální led dioda.

Posledním testem byla detekce ztráty komunikace na sběrnici. Za běhu byl odpojen přijímací modul od sběrnice, čímž došlo k nepotvrzení příjmu a na signálním zařízení byla rozsvícená patřičná indikační led dioda až do doby než byl přijímací modul připojen a potvrdil příjem zprávy.

*(Testovací zapojení je vyfoceno v přílohové části a video s průběhem testu je obsaženo na CD)*



Obr. 26 Blokové schéma testovacího zapojení

#### 7.4 Cena prototypového svítidla LED

Cena elektrických komponentů pro vyrobení prototypového svítidla činila přibližně 450Kč, v ceně jsou zahrnuty všechny elektrické komponenty. Cena výroby není započítána jelikož byla provedena svépomocí.

Při využití Led budiče se navyšuje cena zapojení o 140Kč (pozn. cena budiče závisí na počtu odebraných kusů, při sériové výrobě při odběru nad 500ks činí cca 50kč).

## 8 Závěr

Pro otestování předpokládaných možností a vlastností navrhovaného svítidla, byla provedena realizace prototypového zapojení, které využívala světelný zdroj led diod řízený přes sběrnici CAN. Pro toto demonstrační řešení byly vybrány jednotlivé elektrické komponenty tak, aby celkové zapojení bylo spolehlivé, a cenově dostupné.

Z tohoto důvodu byly provedeny dvě zapojení, které využívaly dva různé způsoby řízení proud led diodami. Tato jednotlivá řešení se odlišovaly pořizovacími náklady a kvalitou řízení proudu led. Jak bylo v průběhu práce popisováno, jednalo se o možnostech využití proudového budiče led a levnějšího řešení s vhodně napětově nadimenzovanými led diodami. V teoretickém rozboru bylo zmíněno, že řešení bez budiče je vhodné využít pro nižší světelné výkony a jen v zapojení, ve kterém nebude docházet k velikému kolísání pájecího napětí, což bylo po otestování zapojení potvrzeno, a proto byl proveden také test možností využití led budiče. Po otestování těchto dvou řešení řízení proudu led, bylo usouzeno, že je vhodné využívat budiče led i pro menší výkony, protože použitím této metody lze zaručit vyšší účinnosti a spolehlivosti led diod.

Jelikož byla provedena realizace návrhu vlastního světelného zdroje, bylo provedeno orientační měření, které sloužilo k porovnání světelného výkonu, účinnosti a geometrické viditelnosti prototypového světelného zdroje led a svítidla s wolframovou žárovkou a reflektorem s barevným filtrem. Z naměřených hodnot světelných výkonů a geometrické viditelnosti bylo usouzeno, že prototypové svítidlo led lze po doladění některých vlastností využít v brzdovém, nebo obrysovém zadním svítidle. Tyto optimalizační změny lze provést pomocí změny geometrického uložení, nebo záměnou použitých led diod.

Realizované led svítidlo s připojením ke sběrnici CAN dokáže analyzovat chyby světelného zdroje, čím je splněna podmínka z hlediska zpětné vazby plynoucí s předpisu osvětlení pro směrová svítidla, a proto lze toto svítidlo prakticky ve vozidle využít. Aby bylo možné led svítidlo ve vozidle pro provoz na komunikacích použít, je potřebné schválení svítidla, čemuž musí předcházet testy svítidla, jako například údaje týkající se světelných parametrů, mechanické pevnosti, teplotní stálosti a dalších údajů stanovených pro vnější osvětlení vozidla.

Vzhledem k tomu, že součástí světelného modulu je mikrokontrolér, který byl doplněn o patřičné elektrické komponenty, tak svítidlo umožňuje rozšiřující možnosti, jako například změnu jasu svítidla na okolním osvětlení atd. (viz. kapitola 4.2). Je však potřeba zmínit, že tyto možnosti nejsou legislativou pro vnější osvětlení blíže specifikovány, a proto je možné zatím tyto vlastnosti svítidla využít jen v rámci projektu prototypového vozidla Vave mobil.

## Použité zdroje

- [1] CAN - Controller Area Network [online]. 2003 [cit. 2010-1-5]. CAN bus - sběrnice. Dostupné z WWW: <<http://www.pp2can.wz.cz/pages/Can.htm>>.
- [2] TARABA, Radek. *HW server : Aplikování sběrnice CAN* [online]. 2004, 9. Listopad 2004 [cit. 2010-05-04]. Aplikovaná sběrnice CAN. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Rozhrani/ART1173-Aplikovani-sbernice-CAN.html>>.
- [3] FISCHER, R.; GSCHIEDLE, R. (et al). *TABULKY PRO AUTOMECHANIKY*, 16. vydání; EUROPA SOBOTÁLES: PRAHA, 2009. ISBN 978-80-86706-21-4
- [4] EHK/OSN. Předpis č. 48 Evropské hospodářské komise Spojených národů (EHK/OSN) — Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci Dodatek 47: Předpis č. 48. 2006. 67 p.
- [5] *MOTORDIAG* [online]. 2010 [cit. 2010-03-06]. LED žárovka BAY15s (P21W). Dostupné z WWW: <<http://www.motorddiag.cz/produkt/led1156-36w>>.
- [6] *LightShow 2008/09 : Světlo, design a příslušenství*. Zruč nad Sázavou : HELLA CZ, s.r.o, 2008. 100 s. Dostupné z WWW: <[http://www.hella.cz/\\_data/hella.pdf](http://www.hella.cz/_data/hella.pdf)>.
- [7] *GM electronic : L-ACULED VHL RED* [online]. 2010 [cit. 2010-01-30]. L-ACULED VHL RED. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/cz/l-aculed-vhl-red-p511-290.html>>.
- [8] PIHAN, Roman. *Fotografování.cz* [online]. 2007, 2007-02-15 [cit. 2010-05-04]. Veličiny pro měření světla. Dostupné z WWW: <[http://www.fotografovani.cz/art/fozak\\_df/rom\\_1p\\_01\\_photometry.html](http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1p_01_photometry.html)>.
- [9] *ZXLD1360 1A LED: Driver with internal switch*. [s.l.] : Zetex, 2007. 28 s.
- [10] *IRLML2502*. [s.l.] : International Rectifier, 2007. 8 s.
- [11] *MC9S08DZ60 : Technical Data Sheet*. Rev. 4. [s.l.] : Freescale Semiconductor, 2008. 416 s.
- [12] *PCA82C250 : CAN controller interface*. [s.l.] : Philips Semiconductors, 2000. 20 s.
- [13] *MC78M00*. [s.l.] : ON Semiconductor, 2000. 18 s.
- [14] *DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS : LM358*. [s.l.] : STMicroelectronics, 2005. 16 s.
- [15] *Silizium-PIN-Fotodiode : BPW 34*. [s.l.] : SIEMENS, 1998. 5 s.